



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
B O L I V I A N A

Leonardo Achá Boiano

**SOFTWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE PROGRAMAS
DE GESTIÓN DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO CONFORME A LA
NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD 009**

Perfil de Proyecto de Grado

presentado a la Carrera de Ingeniería Mecatrónica para obtener
su habilitación a Taller de Grado I.

Tutor: Job Angel Ledezma Perez, Dr. Ing.

Santa Cruz - Bolivia

Junio, 2024

Leonardo Achá Boiano

**SOFTWARE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE PROGRAMAS
DE GESTIÓN DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO CONFORME A LA
NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD 009**

El presente Perfil de Proyecto de Grado fue sometido a análisis y defendido ante el tribunal
compuesto por:

Job Angel Ledezma Perez, Dr. Ing.

**DIRECTOR DE CARRERA
INGENIERÍA MECATRONICA**

Job Angel Ledezma Perez, Dr. Ing.

TUTOR

RELATOR

INVITADO

Santa Cruz de la Sierra, 13 de Junio del 2024

AGRADECIMIENTO

Ingresar en este sector los agradecimientos a los colaboradores en la ejecución del Trabajo

RESUMEN

bla bla bla bla

ABSTRACT

Bla bla

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Porcentaje de la industria expuesta a la automatización por parte de la IA en Estados Unidos.	19
1.2. Registro de profesionales SySO: (a) Mensual (b) Anual.	20
1.3. Profesionales SST activos: Distribución de categorías (a) porcentual (b) por departamento.	21
2.1. Proceso de desarrollo bajo la metodología de Programación Extrema.	43
2.2. Proceso de desarrollo bajo la metodología PXP.	44
2.3. Ecosistema de un sistema de inteligencia artificial.	49
2.4. Proceso de Desarrollo de Modelos de Visión Computacional.	51
2.5. Arquitectura GLN clásica.	53
3.1. Participación de Mercado de los Principales Competidores	63
3.2. Matriz de Competidores: <i>OSH Software</i>	64

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Descripción de actividades para la elaboración de PSST.	40
3.1. Matriz de Selección de Servicios de Computación en la Nube	57
3.2. Detalle de Costos Mensuales de Infraestructura.	58
3.3. Gastos legales de creación de la sociedad.	59
3.4. Inversión Total Inicial	59
3.5. Proyección financiera del proyecto bajo el modelo SaaS.	60
3.6. Cronograma del proyecto.	65

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AFP	Administradora de Fondos de Pensiones
CPE	Constitución Política del Estado
EPP	Equipos de Protección Personal
GLN	Generación de Lenguaje Natural
IBNORCA	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad
IA	Inteligencia Artificial
IPER	Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos
ISO	International Organization for Standardization (Organización internacional de Normalización)
PXP	Programación Extrema Personal
MTEPS	Ministerio de Trabajo, Empleo y Previsión Social
NTS	Norma Técnica de Seguridad
NB	Norma Boliviana
OHS	Occupational Health and Safety (Salud y Seguridad Ocupacional)
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series (Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional)
OHSMS	Occupational Health and Safety Management System
OIT	Organización Internacional del Trabajo
PGSST	Programa de Gestión de Salud y Seguridad en el Trabajo
PyME	Pequeña y Mediana Empresa
SGIA	Sistema de Gestión de Inteligencia Artificial
SGSSO	Sistemas de Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional
SGSST	Sistemas de Gestión de Salud y Seguridad en el Trabajo
SST	Seguridad y Salud en el Trabajo
SySO	Salud y Seguridad Ocupacional
XP	Programación Extrema

ÍNDICE DE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
1. Introducción	17
1.1. Antecedentes	18
1.2. Planteamiento del Problema	20
1.3. Definición del Problema	22
1.4. Objetivos	22
1.4.1. Objetivo general	22
1.4.2. Objetivos específicos	22
1.5. Justificación	23
1.5.1. Justificación legal	23
1.5.2. Justificación tecnológica	24
1.5.3. Justificación social	24
1.6. Delimitación	25
1.6.1. Límites	25
1.6.2. Alcances	25
2. Marco teórico y legal	27
2.1. Salud y Seguridad Ocupacional	27
2.1.1. Conceptos Fundamentales	27
2.1.1.1. Seguridad Ocupacional	28
2.1.1.2. Salud Ocupacional	28
2.1.1.3. Higiene Ocupacional	28
2.1.1.4. Enfermedad Ocupacional	28
2.1.1.5. Sistema de Gestión de Riesgos Ocupacionales	28

2.1.2.	Accidentes e Incidentes Ocupacionales	29
2.1.3.	Factores de accidentes	29
2.1.3.1.	Actos Inseguros	29
2.1.3.2.	Condición Insegura	30
2.1.4.	Ingeniería de Seguridad	30
2.1.5.	Práctica de Seguridad	31
2.1.6.	Investigación de accidentes	31
2.1.7.	Peligro	31
2.1.8.	Riesgo	31
2.1.8.1.	Riesgo Físico	31
2.1.8.2.	Riesgo Mecánico	32
2.1.8.3.	Riesgo Químico	32
2.1.8.4.	Riesgo Biológico	32
2.1.8.5.	Riesgo Psicosocial	32
2.1.8.6.	Riesgo Ergómico	32
2.1.8.7.	Riesgo Aceptable	32
2.1.9.	Condiciones de Trabajo	33
2.1.9.1.	Iluminación	33
2.1.9.2.	Estrés Térmico	33
2.1.9.3.	Sonometría	33
2.1.9.4.	Ventilación	33
2.1.9.5.	Señalización	34
2.1.9.6.	Ergonomía	34
2.1.9.7.	Equipo de Protección Personal(EPP)	34
2.1.9.8.	Comité Mixto	35
2.1.9.9.	Inspección de Salud y Seguridad en el trabajo	35
2.2.	Legislación Aplicable a la SySO	35
2.2.1.	Contexto Histórico	35
2.2.2.	Normativa obligatoria	36
2.2.2.1.	Constitución Política del Estado	36
2.2.2.2.	Ley General del Trabajo	37
2.2.2.3.	Reglamento de la Ley General de Trabajo	37

2.2.2.4.	Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar	37
2.2.2.5.	Disposiciones Complementarias	38
2.2.3.	Normativa voluntaria	39
2.2.3.1.	NB/ISO 62005:2005	39
2.2.3.2.	NB/ISO 55001:2005	39
2.2.3.3.	NB/ISO 51002:2012	41
2.2.3.4.	NB/ISO 7243:2018	41
2.2.3.5.	NB/ISO 45001:2018	41
2.2.3.6.	NB/ISO 51001:2022	41
2.2.3.7.	NB/ISO 58005:2022	41
2.2.3.8.	NB/ISO 11226:2022	42
2.3.	Metodologías de Desarrollo de Software	42
2.3.1.	Programación Extrema	42
2.3.2.	Programación Extrema Personal	43
2.3.2.1.	Técnica MoSCoW	45
2.3.3.	Software como Servicio	46
2.4.	Análisis y Evaluación de Software	46
2.4.1.	Estándar ISO 25000:2014	46
2.4.2.	Método Objetivo-Pregunta-Métrica	47
2.5.	Inteligencia Artificial	48
2.5.1.	Aprendizaje	48
2.5.2.	Redes Neuronales	49
2.5.3.	Visión Computacional	50
2.5.4.	Procesamiento de Lenguaje Natural(PLN)	50
2.5.5.	Modelos de Lenguaje Multimodales	51
2.5.6.	Evaluación de Modelos	52
2.5.7.	Generación de Lenguaje Natural	52
2.5.8.	Generación de Descripciones de Imágenes	53
3.	Propuesta de Proyecto	55
3.1.	Análisis de Costos	55
3.1.1.	Costos de Desarrollo	55
3.1.2.	Costos de Infraestructura	56

3.1.2.1.	Servidores y Almacenamiento	56
3.1.2.2.	Red y Seguridad	57
3.1.2.3.	Costos Totales de Infraestructura	58
3.1.3.	Gastos Legales	58
3.1.4.	Inversión Total Inicial	59
3.2.	Evaluación de Proyecto de Inversión	59
3.2.1.	Comparación Costo Beneficio	60
3.2.2.	Valor Actual Neto	60
3.2.3.	Tasa Interna de Retorno	61
3.2.4.	Conclusión	61
3.3.	Análisis de Competidores	62
3.4.	Cronograma de actividades	63
3.5.	Indice tentativo	65
Bibliografia		75
A. Entrevista: Ing Paola Aliendre		77
B. Diagrama Gantt del Proyecto		79
A. Parámetros: COCOMO intermedio		81

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Se sabe que el rendimiento de cualquier empresa está intrínsecamente ligado al factor humano que la conforma (Krekel et al. 2019). Por lo tanto, mantener la satisfacción y motivación de los empleados dentro de la organización es un desafío constante que requiere una atención continua. La satisfacción de los trabajadores abarca varios aspectos cruciales para su bienestar y desempeño en el entorno laboral, siendo la seguridad y salud laboral los más prioritarios. Garantizar un ambiente laboral seguro y saludable no solo promueve el bienestar físico y emocional de los empleados, sino que también contribuye significativamente a la productividad y eficiencia general de la empresa.

Es responsabilidad de toda organización garantizar la seguridad y salud en el trabajo tanto para sus empleados como para cualquier otra persona que pueda verse afectada por sus operaciones (Ministerio de Trabajo, Empleo y Prevision Social 1979). La implementación de un Sistema de Gestión de la Salud y Seguridad en el Trabajo (SST) tiene como meta principal proporcionar un entorno laboral seguro y saludable, prevenir lesiones y problemas de salud relacionados con el trabajo, y mejorar continuamente el desempeño en SST.

La Norma Técnica de Seguridad (NTS) N° 009/23, aprobada en Bolivia en 2023, establece las directrices de obligatorio cumplimiento para la presentación y aprobación de los Programas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (PGSST). El PGSST tiene la finalidad de prevenir los riesgos laborales, accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales, a través de la gestión e implementación de mecanismos y medidas en el marco de la normativa legal vigente a fin de reducir y contrarrestar los riesgos al darle prioridad al bienestar del Trabajador ya que es el recurso humano que forma parte de la organización (Cahuasiquita Loza et al. 2022).

La implementación efectiva del PGSST sigue siendo un desafío debido a varios factores, incluyendo la falta de conciencia sobre la importancia de la SST, la resistencia de algunos sectores empresariales y la falta de recursos para la implementación de las medidas requeridas. Aunque la normativa establece claramente la obligatoriedad de su cumplimiento, muchas empresas aún no se han adaptado al nuevo mecanismo, lo que las expone a multas y sanciones.

Además de las estrategias tradicionales para mejorar la seguridad y salud en el trabajo, como la identificación y evaluación de riesgos, capacitaciones, equipos de protección personal (EPP), controles de ingeniería y la promoción de una cultura de seguridad; La implementación de sistemas de gestión de la SST no solo promueve un entorno laboral más seguro y saludable, sino que también impulsa la eficiencia y la efectividad organizacional. Sin embargo, en un mundo cada vez más impulsado por la tecnología, es crucial considerar cómo la Inteligencia Artificial está revolucionando diversas áreas como el desarrollo de software, la atención médica (Ellahham et al. 2020) o el campo de la Salud y Seguridad Ocupacional (SySO) (Jarota 2023). La capacidad de la Inteligencia Artificial (IA) para analizar grandes cantidades de datos, identificar patrones y realizar predicciones precisas la convierte en una herramienta invaluable en estos y otros campos, transformando la forma en que se llevan a cabo tareas y se toman decisiones.

1.1 Antecedentes

Existe un precedente de dificultades históricas y culturales que han afectado la implementación efectiva de medidas de seguridad y salud en el trabajo en Bolivia. Morant et al. (2011) concluye que la mayoría de las leyes y regulaciones existentes en materia de seguridad y salud en el trabajo no se aplican debido a dos razones principales: En primer lugar, debido a obstáculos externos (como condiciones materiales, culturales y de acceso) que dificultan que muchos trabajadores y empleadores cumplan con las normas. En segundo lugar, las entidades encargadas no disponen de las estructuras y recursos necesarios para supervisar su cumplimiento y sancionar las infracciones. Por ejemplo, se señala que si una empresa no cuenta con estímulos del mercado, como una certificación de calidad, es probable que su motivación para cumplir con los estándares de higiene y seguridad sea significativamente menor. Esto se debe a que la supervisión se lleva a cabo únicamente en aquellas empresas que informan accidentes laborales o por el contrario, son denunciadas por conflictos. Por lo cual es crucial abordar estos desafíos con una perspectiva renovada y proactiva.

Para este fin, El Ministerio de Trabajo, a través de la Resolución Ministerial N° 1411/18 de 27 de diciembre de 2018, aprobó la Norma Técnica de Seguridad NTS-009/18 para la presentación y aprobación de los Programas de Seguridad y Salud en el Trabajo (PSST). Documento de presentación obligatoria, renovado mediante la Resolución Ministerial del MTEPS N°992/23 de 9 de junio de 2023. Desarrollado a fin de posicionar a Bolivia como un país competitivo en materia de salud y seguridad a nivel internacional pues se encuentra basado en la ISO 450001:2018. La primera norma internacional que aborda la seguridad y salud en el trabajo. Diseñada para ayudar a las organizaciones de todos los tamaños y sectores a crear un entorno de trabajo seguro para sus empleados.

Por otra parte, es importante tener en cuenta como se muestra a claramente en la Figura 1.1 cómo la automatización y la inteligencia artificial están transformando rápidamente varios sectores de la industria a nivel mundial. Destacándose el potencial de ser automatizadas las tareas administrativas y legales. De acuerdo a Hatzius et al. (2023), en estas areas hasta un 46 % de las tareas pueden ser automatizadas. Este cambio tecnológico no solo redefine los roles laborales, sino que también plantea nuevas exigencias. En términos de seguridad y salud ocupacional, la aplicación de estas tecnologías a la realidad nacional tiene el potencial para superar obstáculos externos, así como carencia de recursos y el correspondiente seguimiento que se dificulta en esta región.

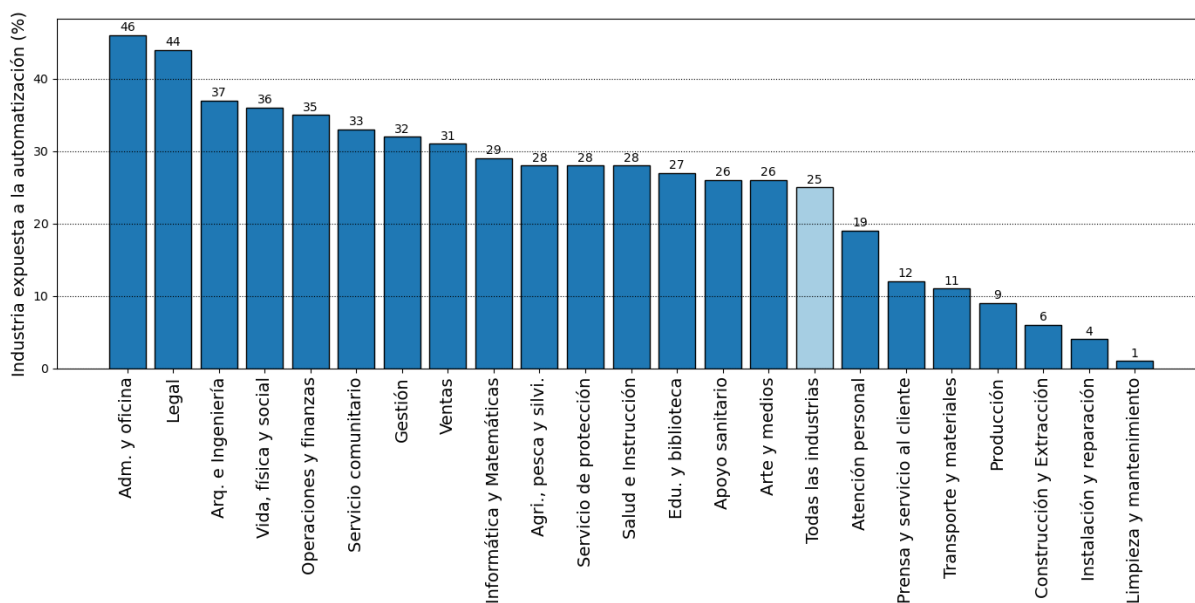


Figura 1.1. Porcentaje de la industria expuesta a la automatización por parte de la IA en Estados Unidos. Elaboración propia a partir de “*The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth*” (2023).

1.2 Planteamiento del Problema

Como se puede apreciar en la Figura 1.2 (a), tras la emisión de la NTS 009/18, vigente a partir de abril del 2019, el número de profesionales SySO en el Registro Nacional de Profesionales y Técnicos en Higiene, Seguridad Ocupacional y Medicina del Trabajo por mes incrementa rápidamente hasta el periodo de pandemia mundial (Platto et al. 2021). Después de la cual, vuelve a incrementar el número de registrados hasta sus máximos históricos en el 2021. A la fecha el número de registros activos es de 3202 e incrementa a una tasa de crecimiento anual del 59% tal y como se refleja en la Figura 1.2 (b). Por otro lado, según datos oficiales del estatal Servicio Plurinacional de Registro de Comercio, al mes de agosto del 2023, Bolivia registra una base empresarial de 372.969 empresas con una tasa de crecimiento anual de aproximadamente el 4% (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural 2024). En otras palabras, en un primer momento, se cuenta con 116 empresas por cada profesional SySO registrado. Convirtiendo al PGSST en un negocio altamente atractivo para los profesionales del área, pero no así en una herramienta que garantice la SySO en todas las empresas.

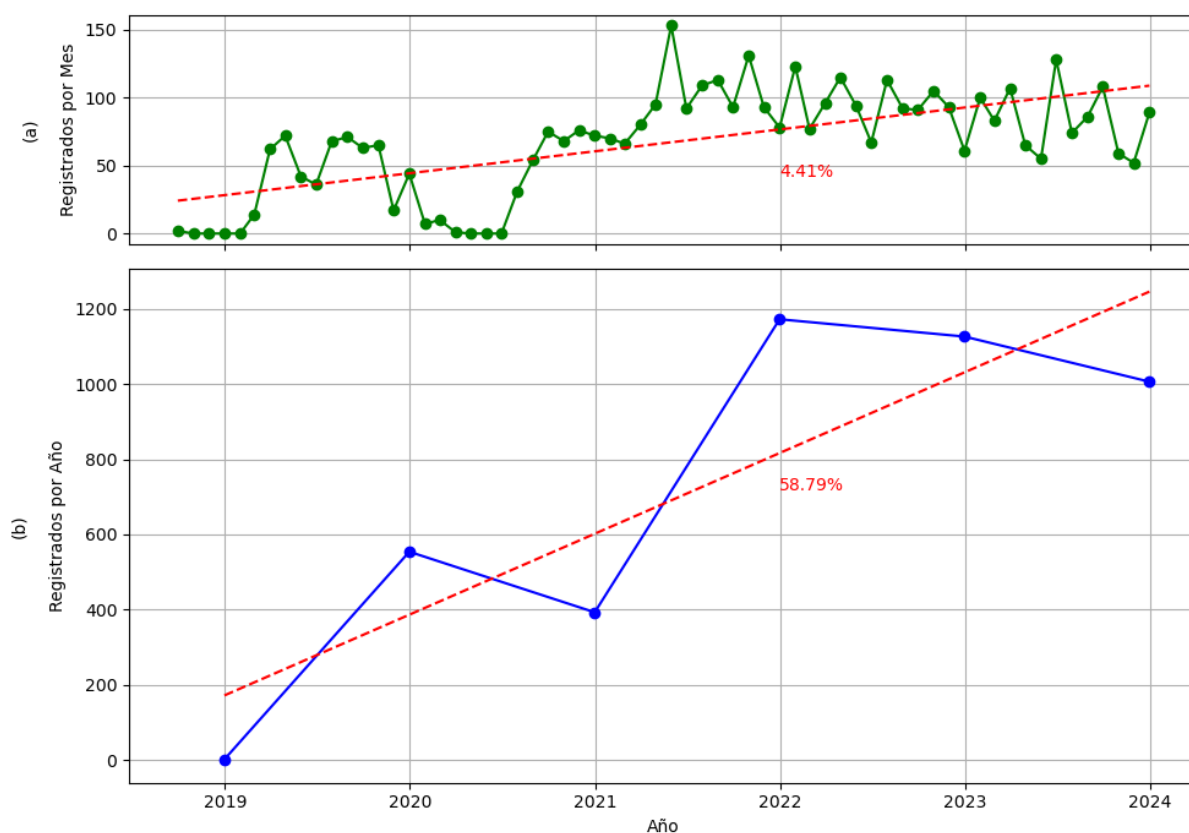


Figura 1.2. Registro de profesionales SySO: (a) Mensual (b) Anual.

Elaboración propia a partir de datos del Registro Nacional de Profesionales Técnicos de Higiene, Seguridad Ocupacional y Medicina del Trabajo

Nótese que se debe realizar un PGSST no por empresa, sino por establecimiento laboral, independientemente de su tamaño o ubicación. Esto significa que si una empresa tiene varias sucursales o reparticiones, debe presentar un PGSST por cada una de ellas. Si una empresa tiene varias ubicaciones dentro de un mismo establecimiento, debe presentar un PGSST por cada ubicación. La razón de esto es que cada empresa o establecimiento laboral tiene sus propias características y riesgos, por lo que el PGSST debe ser específico para cada uno de ellos. Más aun, se debe tomar en cuenta que todos “los estudios y/o monitoreos deben ser realizados por un profesional inscrito y con credencial categoría ‘A’ vigente en el Registro Nacional” (Ministerio de Trabajo, Empleo y Previsión Social 2023b). Monitoreos que son necesarios pues se encuentran entre los requisitos principales de un PGSST y deben realizarse de manera regular para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores. Sin embargo, como se aprecia en la Figura 1.3 (a), del numero total de registros activos solo el 56 % es de categoría A; Distribución que como la Figura 1.3 (b) muestra, se mantiene similar en los diversos departamentos. En otras palabras, por cada 65 empresas hay un profesional activo capacitado para llevar a cabo los estudios de higiene. Por tanto, asumiendo que estos profesionales no trabajan en un mismo equipo, actualmente en el país pueden realizarse 1792 estudios de higiene al mismo tiempo; En caso el estudio de higiene de una empresa tome un solo día y que la misma cuente con solo una ubicación, se necesitan 208 días para que los profesionales realicen o actualicen a todas las empresas. En efecto, algunos estudios, como los de ruido o iluminación, pueden realizarse en un solo día, pero hay otros, como los de calidad del aire o de agentes químicos, pueden requerir varios días o incluso semanas.

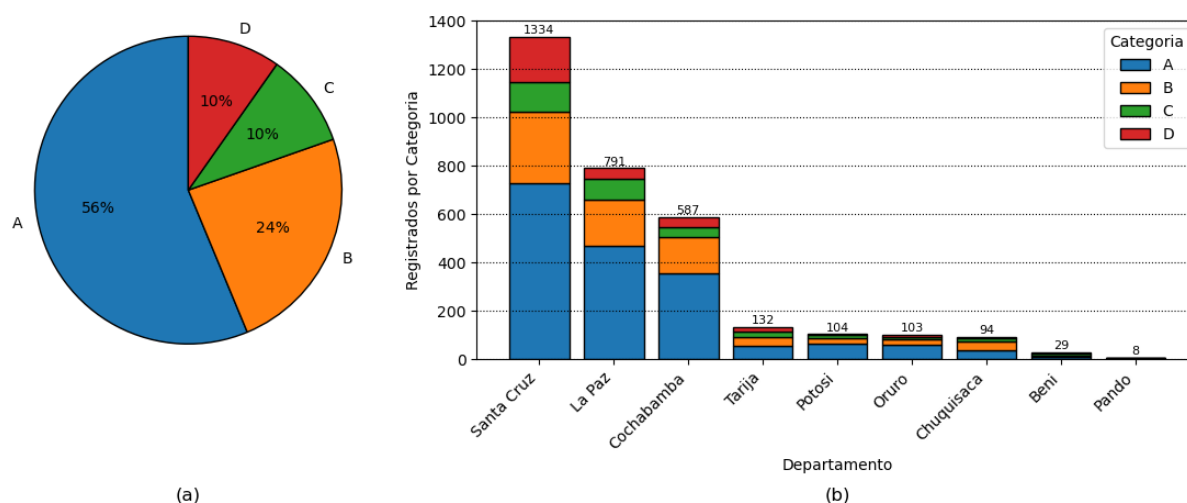


Figura 1.3. Profesionales SST activos: Distribución de categorías (a) porcentual (b) por departamento. Elaboración propia a partir de datos del Ministerio Trabajo, Empleo y Previsión Social

En resumen, la actual normativa vigente, aunque ha generado un incremento significativo en el registro de profesionales SySO y en la atención a la seguridad laboral, enfrenta desafíos que limitan su efectividad. La complejidad en la generación de PGSST, las deficiencias en capacitación y los desafíos de cumplimiento normativo constituyen un problema multifacético que compromete tanto la seguridad de los empleados como el rendimiento operativo de las empresas. Es evidente que se requieren acciones urgentes para abordar estas dificultades y garantizar entornos laborales seguros y productivos para el creciente número de empresas en el país.

1.3 Definición del Problema

¿Cómo impacta la falta de recursos humanos especializados en el cumplimiento de la NTS 009/23 por parte de las empresas en Bolivia?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un sistema automatizado basado en la NTS 009/23 que facilite la identificación de riesgos laborales, el desarrollo y la gestión eficaz de los PGSST.

1.4.2 Objetivos específicos

- Contextualizar la situación actual de los procesos para desarrollar los documentos requeridos por la NTS-009/23 mediante diagramas de flujo que reflejen las operaciones actuales.
- Determinar la arquitectura del sistema, incluyendo la estructura general, los componentes principales y las tecnologías a utilizar, para asegurar la escalabilidad, la modularidad y la eficiencia del sistema.
- Desarrollar las iteraciones del proyecto, estableciendo los objetivos específicos a alcanzar durante la fase de diseño, implementación y pruebas del sistema en cada iteración.
- Implementar el sistema utilizando la metodología de Desarrollo Guiado por Pruebas (TDD).

- Verificar la calidad del software tras cada iteración como parte del proceso de pruebas del sistema haciendo uso de la metodología Objetivo-Pregunta-Métrica (GQM) para asegurar la calidad en base al estándar ISO 25000:2014.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación legal

La justificación legal de este proyecto se fundamenta en el marco normativo vigente en Bolivia, específicamente en la NTS-009/23, la Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar (D.L. 16998 del 2 de agosto de 1979), Reglamento de la Ley general del trabajo (Decreto Supremo N° 224 de 23 de agosto de 1943) y otras regulaciones relacionadas.

En primer lugar, la NTS-009/23 establece claramente los requisitos que deben cumplir todas las empresas y lugares de trabajo, tanto nacionales como extranjeros, en relación con la seguridad y salud ocupacional. Esta normativa especifica la obligación de desarrollar y mantener Programas de Gestión de Salud y Seguridad en el Trabajo (PGSST) que garanticen un entorno laboral seguro y saludable para todos los trabajadores. Por lo tanto, la implementación de un sistema automatizado para la gestión de la seguridad y salud ocupacional se justifica en el contexto de cumplimiento de esta normativa, ya que facilitará el cumplimiento de los requisitos establecidos y mejorará la eficiencia en la gestión de los PGSST. En este sentido, la implementación de un sistema automatizado para la gestión de la seguridad y salud ocupacional se alinea con los principios y objetivos establecidos en esta la Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar, contribuyendo a fortalecer el cumplimiento de las disposiciones legales y a proteger los derechos y la integridad de los trabajadores en el país.

En conclusión, la justificación legal de este proyecto se sustenta en la necesidad de cumplir con la normativa vigente en materia de seguridad y salud ocupacional en Bolivia. La implementación de un sistema automatizado para la gestión de la seguridad y salud ocupacional ayudará a garantizar el cumplimiento de los requisitos legales establecidos, promoverá un entorno laboral seguro y saludable, y protegerá los derechos y el bienestar de los trabajadores en el país.

1.5.2 Justificación tecnológica

La justificación tecnológica de este proyecto radica en la necesidad de aprovechar las ventajas de la Inteligencia Artificial (IA) y las tecnologías de información para mejorar la eficiencia y la efectividad en la gestión de la seguridad y salud ocupacional en las empresas bolivianas.

La implementación de un sistema automatizado basado en IA permitirá identificar proactivamente riesgos laborales, agilizar el desarrollo de Programas de Gestión de Salud y Seguridad en el Trabajo (PGSST) y facilitar la gestión eficiente de los mismos. Esta tecnología proporcionará capacidades avanzadas para analizar grandes cantidades de datos, identificar patrones y tendencias, y realizar predicciones precisas, lo que permitirá una toma de decisiones más informada y rápida en materia de seguridad y salud ocupacional.

En resumen, la adopción de tecnologías de IA y automatización en la gestión de la seguridad y salud ocupacional ofrece una oportunidad única para mejorar la seguridad de los trabajadores, reducir los riesgos laborales y promover un entorno laboral más seguro y saludable en las empresas bolivianas. Esta justificación tecnológica respalda la necesidad de desarrollar e implementar un sistema automatizado para la gestión de la seguridad y salud ocupacional en el contexto específico de Bolivia.

1.5.3 Justificación social

La justificación social de este proyecto se basa en el impacto positivo que tendrá en la sociedad boliviana al mejorar las condiciones de trabajo y promover un entorno laboral seguro y saludable para todos los trabajadores.

La implementación de un sistema automatizado para la gestión de la seguridad y salud ocupacional beneficiará directamente a los trabajadores al reducir los riesgos laborales y prevenir accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo en menor tiempo y a menor costo. Por ejemplo, según entrevistas realizadas a consultores SySO el tiempo promedio que se tarda en desarrollar un PGSST para Pequeñas y Medianas Empresas (PyME) mediante las metodologías tradicionales es de seis meses (Ver Anexo A para más detalles). La facilidad que se otorgará a disminuir el tiempo de desarrollo, se traduce en un menor precio lo que hace que este sistema sea más accesible para las empresas de todo tipo. Además, un entorno laboral seguro y saludable también tendrá un impacto positivo en la productividad y la eficiencia de las empresas, lo que a su vez beneficiará a la economía en general. Menos accidentes y enfermedades labora-

les significan menos días de trabajo perdidos, menores costos de atención médica y una fuerza laboral más comprometida y motivada.

En última instancia, la implementación de este sistema contribuirá a construir una cultura de seguridad y salud ocupacional en Bolivia, donde la protección de los trabajadores y el cumplimiento de las normativas de seguridad laboral sean prioridades fundamentales para todas las empresas y organizaciones. Esto no solo beneficiará a los trabajadores individuales y a las empresas, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible y al bienestar general de la sociedad boliviana.

1.6 Delimitación

1.6.1 *Limites*

Los límites del proyecto se describen a continuación:

- El contenido de los documentos generados por el software se encuentra delimitado por los requerimientos técnicos y correspondientes entregables expuestos en NTS-009/23.
- El contenido generado por el software deberá estar en conformidad con la norma ISO 45001:2018, la norma internacional para sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SGSST).
- La ISO 25000:2014 proporciona un marco para la evaluación de la calidad del producto de software. Se utilizarán sus directrices para asegurar que el software desarrollado cumpla con los estándares de calidad y satisfaga las necesidades de los usuarios finales.
- Para utilizar la aplicación se tendrá que estar conectado a internet. En caso que no se esté conectado a internet, no se tendrá acceso a la aplicación.
- El software no contará con herramientas especializadas en la automatización de los estudios de higiene. Se limitará a plantillas para rellenar y automatizar el análisis de los datos recolectados por “un profesional inscrito y con credencial categoría “A” vigente en el Registro Nacional de Profesionales Técnicos de Higiene, Seguridad Ocupacional y Medicina del Trabajo” (Ministerio de Trabajo, Empleo y Previsión Social 2023b).

1.6.2 *Alcances*

El alcance del proyecto incluirá:

- Prototipo funcional de aplicación web que permita agilizar el proceso de desarrollo un de PGSST mediante generación automática de tres de los trece documentos solicitados por la NTS 009/23 de acuerdo a los requisitos recolectados de entrevistas a profesionales en el area.
- Entrevistas realizadas a los usuarios objetivo del producto.
- Documentación de la investigación de las tecnologías que se utilizarán para el desarrollo del software final.
- Documentación del desarrollo del software, en el cual se incluirá los detalles de la automatización del desarrollo de un PGSST y un manual de usuario.

Las exclusiones del proyecto son las siguientes:

- No se implementarán los módulos, audio, inteligencia artificial, interfaz de usuario y entrada desde cero, se utilizará bibliotecas open-source disponibles.
- El proyecto no estará dirigido a empresas o rubros que requieran de normativa o procedimientos particulares, como es el caso de la industria petrolera.

Tal y como indica norma, todo PGSST desarrollado, debe ser aprobado por personal debidamente inscrito y con credencial vigente en el Registro Nacional de Profesionales y Técnicos en Higiene, Seguridad Ocupacional y Medicina del Trabajo, a cargo del Ministerio Trabajo, Empleo y Previsión Social (MTEPS) conforme a normativa legal vigente (Ministerio de Trabajo, Empleo y Previsión Social 2023b).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y LEGAL

2.1 Salud y Seguridad Ocupacional

La SySO se fundamenta en una serie de objetivos y disposiciones legales que buscan garantizar condiciones óptimas de salud, higiene y seguridad en el entorno laboral. Estas directrices están diseñadas para proteger la integridad física y mental de los trabajadores, así como salvaguardar el medio ambiente de riesgos que puedan afectar la salud y el equilibrio ecológico. La colaboración entre el Estado, empleadores y trabajadores es esencial para alcanzar estos objetivos, asegurando la implementación efectiva de normas que regulen las condiciones laborales y el entorno de trabajo. Estas disposiciones se extienden a diversas actividades económicas y sociales, abarcando desde entidades públicas y privadas hasta instituciones educativas y organizaciones cooperativas, con el propósito de asegurar un ambiente laboral seguro y saludable para todos los trabajadores, excluyendo únicamente aquellas actividades específicas relacionadas con las fuerzas armadas, la seguridad del estado y las labores domésticas en el hogar del empleador. (Ministerio de Trabajo, Empleo y Prevision Social 1979)

2.1.1 *Conceptos Fundamentales*

En el ámbito de la salud y seguridad ocupacional, diversos conceptos fundamentales han surgido como herramientas esenciales para los profesionales en la prevención de riesgos laborales. Estos conceptos no solo son parte integral del vocabulario en este campo, sino que también facilitan la comprensión y resolución de desafíos relacionados con la seguridad en entornos laborales diversos y cambiantes.

2.1.1.1 Seguridad Ocupacional

La Ley General de Higiene y Seguridad Ocupacional y Bienestar define a la Seguridad Ocupacional como el conjunto de reglas y procedimientos de carácter técnico, legal y administrativo, cuyo objetivo es salvaguardar al trabajador de los peligros que puedan afectar su bienestar físico y sus consecuencias. Además, busca asegurar la continuidad del proceso de producción y la preservación del patrimonio del lugar de trabajo (Ministerio de Trabajo, Empleo y Prevision Social 1979).

2.1.1.2 Salud Ocupacional

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) (1997) define a la Salud Ocupacional como la “salud física y mental de los trabajadores y comprende el estudio de métodos de trabajo, condiciones de trabajo y factores que en el medio ambiente de trabajo pueden causar enfermedades o lesiones”.

2.1.1.3 Higiene Ocupacional

La higiene ocupacional se refiere al conjunto de procedimientos y reglas dedicados al reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones que surgen en situaciones laborales y que pueden causar enfermedades ocupacionales o afectar la salud (Brauer 2022).

2.1.1.4 Enfermedad Ocupacional

Según la OIT, se define a las enfermedades ocupacionales como cualquier enfermedad adquirida debido a la exposición a peligros laborales (Valverde-Mendoza 2022). Es de importancia distinguir las enfermedades generales que afectan la salud de una persona independientemente de las condiciones laborales y las enfermedades laborales que son causadas o agravadas por factores específicos del trabajo como accidentes laborales, condiciones durante el embarazo, maternidad, paternidad y otros riesgos laborales.

2.1.1.5 Sistema de Gestión de Riesgos Ocupacionales

También denominado como Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SGSSO o SGSST) es un marco proactivo que ayuda a las organizaciones a proteger a las personas de lesiones ocupacionales y enfermedades. Está diseñado para ser utilizado por organizaciones, independientemente de su tamaño e industria (Soltanifar 2022).

2.1.2 Accidentes e Incidentes Ocupacionales

El diccionario define un accidente como un suceso inesperado o no intencionado. Otras definiciones entienden al termino como a los eventos que causan daño o pérdida. Sin embargo, estas definiciones pueden crear problemas en el campo de la seguridad ocupacional, ya que sugieren casualidad y falta de control; Razón por la cual algunas organizaciones prefieren usar el término “incidente” para evitar la idea de casualidad asociada con el termino “accidente”. Por este motivo, se redefine el termino accidente en el area de la SySO como una “serie de eventos inesperados y no planificados, originados por acciones inseguras, condiciones inseguras o ambos, los cuales pueden provocar efectos no deseados inmediatos o diferidos” (Brauer 2022). Bajo esta definición resulta necesario definir lo que son tanto las condiciones inseguras como las acciones inseguras.

2.1.3 Factores de accidentes

La comprensión de los factores que contribuyen a los accidentes y incidentes ocupacionales es fundamental para promover entornos laborales seguros y saludables. Estos factores se dividen en dos categorías principales: actos inseguros y condiciones inseguras. Identificar y abordar estos elementos esenciales puede ayudar a prevenir una amplia gama de eventos no deseados en el lugar de trabajo.

2.1.3.1 Actos Inseguros

La Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar (Decreto Ley 16998) define como acto inseguro a la “acción y/o exposición no necesaria del trabajador al riesgo, susceptible de causar accidentes” (MTEPS 1979). Es crucial reconocer estas acciones para identificar áreas de mejora en la seguridad laboral así como las causas de un accidente. Por ejemplo, en el caso de la Administradora de Fondos de Pensiones (AFP) a la que se debe denunciar los accidentes de trabajo para asegurar la atención y los beneficios adecuados para los trabajadores afectados, así como para cumplir con la normativa (Gobierno de Bolivia 2004) clasifica los actos inseguros en las siguientes categorías:

- Trabajos sin autorización.
- Operaciones a velocidad inadecuada.
- Herramientas y equipos defectuosos.
- Empleo inadecuado de herramientas, equipos, materiales, vehículos, etc.
- Uso de equipos defectuosos o inseguros.
- Inadecuado uso de EPP.
- Forma defectuosa e insegura de manipular, apilar, mezclar o almacenar.
- Manera defectuosa e insegura de levantar y llevar pesos.
- Adoptar posturas inseguras y defectuosas.
- Ajustar maquinaria en movimiento.
- Falta de atención laboral o causar incomodidad a otros.

2.1.3.2 Condición Insegura

En el Decreto Ley 16998, se define como condición insegura a “toda condición física o ausencia de norma, susceptible de causar accidente” (MTEPS 1979). Estas condiciones son situaciones o circunstancias laborales que aumentan el riesgo de accidentes o lesiones. Identificar y corregirlas es esencial para promover la seguridad laboral. A continuación se presentan algunas categorías de condiciones inseguras según la clasificación de las AFP:

- Resguardo inadecuado (máquinas).
- Sin resguardo (máquinas).
- Herramientas y equipos defectuosos.
- Herramientas equipos inadecuados.
- Construcción insegura.
- Vestimenta de trabajo inadecuada.
- Vestimenta de trabajo defectuosa.
- Falta de equipo de protección personal.
- Señalización inadecuada.
- Señalización defectuosa.
- Señalización existente.
- Hacinamiento, falta de orden y limpieza.
- Fatiga física.
- Deficiencias físicas (Miopía, sordera, etc).
- Deficiencias psíquicas.

2.1.4 Ingeniería de Seguridad

La ingeniería de seguridad es la aplicación de principios de ingeniería para el reconocimiento y control de peligros (Brauer 2022).

2.1.5 Práctica de Seguridad

La práctica de seguridad implica el reconocimiento (y a veces la anticipación), evaluación y control (ingeniería o administrativo) de peligros y riesgos, así como la gestión de estas actividades (Brauer 2022).

2.1.6 Investigación de accidentes

Se define como el proceso sistemático que se sigue al investigar un accidente, desde antes de que ocurra hasta el momento en que se identifican claramente las causas y circunstancias que contribuyeron a que sucediera dicho evento (MTEPS 1979).

2.1.7 Peligro

Un peligro es una fuente o situación que tiene el potencial de causar daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, impactos ambientales o una combinación de estos.

2.1.8 Riesgo

El riesgo se define como la combinación de la probabilidad P de que ocurra un evento o exposición peligrosa y la severidad S de las lesiones, daños o deterioro de la salud que pueden resultar de dicho evento o exposición (Ministerio de Trabajo, Empleo y Prevision Social 2018). Por lo tanto, es crucial para la ingeniería de seguridad establecer métodos y criterios claros para que los profesionales en SySO determinen el valor de estas variables. Es importante tener en cuenta que esta evaluación implica un componente **subjetivo** del potencial de riesgo. En el contexto de la evaluación de riesgos laborales, se identifican diversas categorías que representan los tipos principales de riesgos a los que pueden estar expuestos los trabajadores. A continuación se detallan estas categorías y los tipos de riesgos asociados a cada una (Cahuasi-quita Loza et al. 2022).

2.1.8.1 Riesgo Físico

Se refiere a los riesgos derivados de factores ambientales como temperatura, iluminación, ruido, vibraciones, radiaciones no ionizantes, entre otros, que pueden afectar la salud del trabajador.

2.1.8.2 Riesgo Mecánico

Este riesgo se relaciona con el uso de maquinaria y equipos en el lugar de trabajo, incluyendo riesgos asociados con movimientos mecánicos, como atrapamientos, cortes, golpes o caídas de objetos.

2.1.8.3 Riesgo Químico

El riesgo químico está vinculado a la exposición a sustancias químicas peligrosas que pueden causar daños agudos o crónicos a la salud, como intoxicaciones, alergias o enfermedades respiratorias.

2.1.8.4 Riesgo Biológico

Se refiere a los riesgos relacionados con la exposición a microorganismos patógenos, como bacterias, virus u hongos, que pueden provocar infecciones o enfermedades en los trabajadores.

2.1.8.5 Riesgo Psicosocial

Este riesgo considera aspectos psicológicos y sociales del trabajo que pueden afectar la salud mental y emocional de los trabajadores, como estrés laboral, acoso o violencia en el entorno laboral afectando de manera cognitiva, emocional y conductual a las personas en su entorno laboral.

2.1.8.6 Riesgo Ergómico

El riesgo ergonómico se relaciona con las condiciones del puesto de trabajo que pueden causar fatiga o lesiones musculoesqueléticas debido a posturas incómodas, movimientos repetitivos o manipulación de cargas.

2.1.8.7 Riesgo Aceptable

El riesgo aceptable se refiere al nivel de riesgo que, después de una evaluación adecuada, se considera tolerable para las operaciones y actividades, dentro de ciertos límites aceptables de seguridad y salud ocupacional (International Organization for Standardization 2018). Este nivel puede variar según las normativas y políticas de seguridad vigentes.

2.1.9 Condiciones de Trabajo

2.1.9.1 Iluminación

Es esencial contar con la iluminación correcta en el entorno laboral para asegurar la seguridad y el rendimiento óptimo de los empleados. La cantidad de luz en el área específica de trabajo debe ser adecuada para facilitar la realización segura y eficiente de las tareas, previniendo la fatiga visual y los peligros relacionados con una iluminación insuficiente. La atención se centra en la luz disponible en el lugar exacto donde se realiza la actividad laboral, más que en la iluminación general del espacio. En Bolivia el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) desarrolló la Norma Bolivia (NB) 51002:2012 que determina las “Condiciones mínimas de niveles de Iluminación en los lugares de trabajo” así como también establece una metodología para identificar la cantidad de puntos de muestreo en un salón (IBNORCA 2012).

2.1.9.2 Estrés Térmico

El estrés térmico se refiere a la combinación de la temperatura del entorno y el calor generado por el cuerpo durante el metabolismo. El objetivo de controlar este estrés es determinar si los trabajadores están enfrentando temperaturas elevadas en sus puestos laborales críticos. En Bolivia, la norma NB/ISO 7243:2018 proporciona un método para evaluar el estrés térmico al que está expuesta una persona tanto interiores como exteriores y determinar si existe o no estrés por calor. Este método se utiliza para evaluar el efecto del calor en una persona durante su exposición total durante la jornada laboral (hasta 8 horas), y no se aplica a exposiciones muy breves al calor (IBNORCA 2018).

2.1.9.3 Sonometría

La sonometría se refiere al estudio y la medición de los niveles de ruido, considerando como ruido a cualquier sonido no deseado que cause molestias, perjuicios o impactos negativos en la salud humana o en los seres vivos (IBNORCA 2005). La NB 62005:2005 establece los límites máximos permisibles de exposición de los trabajadores a ruido en el ambiente de trabajo durante la jornada laboral.

2.1.9.4 Ventilación

La norma NB 51001:2022 define la ventilación como el movimiento de aire y/o la sustitución por aire fresco, ya sea por efecto del viento, gradientes de temperatura o medios

mecánicos (IBNORCA 2012). En el contexto industrial, la ventilación implica el uso de tecnología para eliminar el exceso de polvo, humo y partículas suspendidas presentes en diversos materiales, con el propósito de proporcionar a los empleados un ambiente de trabajo limpio y saludable para respirar.

2.1.9.5 Señalización

La señalización se refiere a cualquier método básico y universal de comunicación destinado a evitar peligros, prohibir ciertas acciones o proporcionar instrucciones claras sobre el uso de instalaciones, vías o equipos (MTEPS 1979:406). La misma es de carácter obligatorio y bajo responsabilidad del empleador en todo centro de trabajo.

2.1.9.6 Ergonomía

También conocida como ingeniería humana, la ergonomía es una disciplina que busca mejorar la interacción entre las personas, las máquinas y el entorno laboral. Su objetivo es ajustar los puestos de trabajo, los ambientes y la organización laboral a las capacidades y limitaciones de las personas, con el fin de reducir el estrés y la fatiga, y así mejorar el rendimiento y la seguridad de los trabajadores (MTEPS 2023a). En Bolivia a partir de la NTS 009/23, se vuelve obligatorio llevar a cabo estudios y monitoreos ergonómicos. Se destaca los estándares ISO 11228 y la ISO 11226, que abordan aproximadamente el 90 % de los desafíos asociados con trabajos operativos que no implican una rutina sedentaria de oficina. Estas normas son fundamentales para prevenir trastornos musculo esqueléticos y otros daños derivados de la actividad física a lo largo de la vida laboral (IBNORCA 2023). Cubren criterios y factores de riesgo ergonómicos, incluyendo el levantamiento y transporte manual de cargas (ISO 11228-1), el empuje y la tracción de cargas (ISO 11228-2), los movimientos repetitivos de las extremidades superiores (ISO 11228-3) y la evaluación de posturas estáticas de trabajo (ISO 11226).

2.1.9.7 Equipo de Protección Personal(EPP)

El EPP comprende las prendas necesarias que los trabajadores deben usar durante sus labores diarias en la empresa para proteger su integridad física. Las mismas comprenden protecciones para oídos, ojos, sistema respiratorio, tronco, brazos, manos, piernas, calzado e indumentaria especializada para evitar caídas, llamar la atención y salvaguardar la integridad del trabajador. También se incluyen los elementos de protección, que son las características incorporadas en las máquinas para salvaguardar la seguridad de los operarios y cualquier persona

cercana a ellas.

2.1.9.8 *Comité Mixto*

Definido como la representación paritaria de los empleadores y trabajadores de una empresa que tiene por fin velar por el cumplimiento de las medidas de prevención de riesgos ocupacionales (Ministerio de Trabajo, Empleo y Prevision Social 2022).

2.1.9.9 *Inspección de Salud y Seguridad en el trabajo*

La inspección de Seguridad y Salud en el trabajo es una función técnico-legal que tiene como objetivo verificar el cumplimiento de las normativas vigentes (MTEPS 1979). Implica un análisis detallado a través de la observación directa de instalaciones, equipos y procesos laborales para identificar peligros y evaluar riesgos en cada puesto. Durante estas inspecciones, se busca resaltar aspectos positivos y detectar áreas de mejora, utilizando las observaciones para hacer recomendaciones concretas que prevengan accidentes y enfermedades laborales. Esta metodología no solo busca corregir deficiencias, sino también fortalecer las condiciones de seguridad existentes.

2.2 *Legislación Aplicable a la SySO*

2.2.1 *Contexto Histórico*

Históricamente, las primeras disposiciones de orden legal aparecieron a principios del siglo XX. Comenzando con las primeras disposiciones en 1905 sobre pensiones de retiro para maestros hasta la promulgación de la Nueva Ley de Pensiones en 1996, se observa un progreso gradual en la protección de los trabajadores y la promoción de la salud ocupacional en el país. Se destacan hitos importantes como la creación de la Ley de Accidentes de Trabajo en 1924, que estableció las bases para la indemnización de trabajadores enfermos o accidentados, así como la obligatoriedad de exámenes médicos y normas de higiene y seguridad industrial en todas las industrias. El establecimiento de la Caja de Seguro y Ahorro Obrero en 1935 y la posterior creación del Ministerio del Trabajo y Previsión Social en 1936 reflejan un mayor compromiso del gobierno con la protección de los derechos laborales. En mayo de 1939 se promulgó la Ley General del Trabajo, que consolidó y organizó todas las disposiciones laborales hasta entonces. Esta ley estableció normas relacionadas con la asistencia médica, la vivienda para los trabajadores, los riesgos laborales y las indemnizaciones, entre otros aspectos (Morant

et al. 2011).

A lo largo de las décadas siguientes, se observa un esfuerzo continuo por mejorar las condiciones de trabajo y la atención médica para los trabajadores, con la creación de instituciones como el Instituto Nacional de Salud Ocupacional y la implementación de programas de evaluación médica y seguridad industrial en diversas industrias. La promulgación de la Ley General de Seguridad Ocupacional y Bienestar en 1979 marcó un hito importante al regular todas las medidas relacionadas con la protección del trabajador en el ambiente laboral. Finalmente, la reforma del Seguro Social en 1996 representó un paso significativo hacia la modernización del sistema de pensiones y la garantía de la seguridad financiera para los trabajadores en el largo plazo, consolidando así décadas de esfuerzos en el ámbito de la salud ocupacional en Bolivia. Durante la década del 2000 al 2010, Bolivia experimentó cambios significativos bajo el gobierno de Evo Morales. Se promulgó una nueva Constitución Política del Estado y se propusieron leyes relacionadas con el trabajo y la seguridad social buscando mejorar las condiciones laborales y ampliar la cobertura del sistema de pensiones. Estas acciones reflejaron el compromiso del gobierno por fortalecer los derechos laborales y sociales, así como modernizar la seguridad social para beneficiar a la población trabajadora.

En este contexto, la Resolución Ministerial No. 1411 del 27 de diciembre de 2018 dejó sin efecto los Planes de Higiene, Seguridad Ocupacional y Manual de Primeros Auxilios. Mismos que constituían el mecanismo legal que tenían las empresas para cumplir la Ley General de Higiene y Seguridad Ocupacional y Bienestar, y se aprobó un nuevo mecanismo más eficiente denominado PSST o Programas de Seguridad y Salud en el Trabajo. Mismo que con la Resolución Ministerial No. 992/23 del 9 de junio del 2023 fue actualizada. La Norma NTS-009/23 define al PGSST o Programa de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo como: Documento que contiene el conjunto de actividades y mecanismos en materia de higiene, seguridad ocupacional y bienestar implementados en la empresa o establecimiento laboral.

2.2.2 Normativa obligatoria

2.2.2.1 Constitución Política del Estado

La Constitución Política del Estado (CPE) es el documento fundamental que regula cómo se estructura y opera el Estado, además de definir los derechos y responsabilidades de los ciudadanos. En su Artículo 46 establece que todas las personas tienen el derecho a un empleo digno, con condiciones seguras en el trabajo, higiene y salud ocupacional, sin discriminación, y

con una remuneración justa y satisfactoria, que garantice una vida digna para ellos y sus familias (CPE 2009).

2.2.2.2 *Ley General del Trabajo*

La Ley General del Trabajo, promulgada el 8 de diciembre de 1942, establece los derechos y obligaciones relacionados con el trabajo en Bolivia. No se encuentran sujetos a las disposiciones de esta ley los trabajadores agrícolas, funcionarios públicos y del ejército. Se definen aspectos como el contrato de trabajo, las condiciones laborales y las sanciones por incumplimiento (Ediciones Nacionales Serrano 2019). Las disposiciones fundamentales referentes a la SySO se hallan principalmente en los artículos 67 al 96, distribuidos en los Títulos V, VI y VII de la ley (Cahuasiquita Loza et al. 2022). Estos abordan aspectos clave como la higiene, seguridad en el trabajo, asistencia médica, medidas de previsión social y riesgos profesionales.

2.2.2.3 *Reglamento de la Ley General de Trabajo*

El Reglamento de la Ley General de Trabajo proporciona directrices detalladas sobre cómo se debe implementar y cumplir la Ley General de Trabajo en las organizaciones. Este reglamento está estructurado en once títulos que abarcan diferentes aspectos relacionados con el ámbito laboral. Estos títulos van desde disposiciones generales hasta regulaciones específicas sobre contratos laborales, condiciones de trabajo, higiene y seguridad laboral, asistencia médica y previsión social, riesgos profesionales, organizaciones de trabajadores y patronos, conflictos colectivos del trabajo, prescripción y sanciones. Estos títulos proporcionan un marco completo para garantizar el cumplimiento y la aplicación efectiva de la legislación laboral en las empresas y organizaciones.

2.2.2.4 *Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar*

La Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar es un marco legal obligatorio que establece las responsabilidades del estado, empleadores y trabajadores en cuanto a la protección de la salud laboral. Esta legislación consta de dos libros, seis títulos, treinta y dos capítulos y un total de cuatrocientos quince artículos. Los primeros cincuenta y ocho artículos abordan aspectos estructurales, mientras que del 59 al 415 se centran en normativas técnicas (Ediciones Nacionales Serrano 2019). Se estructura en dos libros que detallan los requisitos mínimos para garantizar la salud y seguridad en el trabajo. El Libro I abarca la gestión integral de estos aspectos, desde normas generales hasta la organización de servicios y la defini-

ción de infracciones. Por otro lado, el Libro II se enfoca en las condiciones mínimas de higiene y seguridad, abordando aspectos técnicos específicos como la prevención de incendios, el manejo de maquinaria y sustancias peligrosas. En conjunto, esta legislación establece un marco completo para proteger la salud y bienestar de los trabajadores, con normativas detalladas que abarcan desde la organización del trabajo hasta medidas específicas de seguridad en distintos ámbitos laborales.

2.2.2.5 Disposiciones Complementarias

Las Resoluciones Ministeriales consisten en instrucciones o disposiciones dictadas por los ministerios, las cuales poseen autoridad legal y deben ser acatadas por las instituciones que están bajo su ámbito de competencia.

- **Resolución Ministerial N° 527/09**

La Resolución Ministerial 527/09, determina que los empleadores tienen la obligación de dotar ropa de trabajo y EPP desde el primer día de servicio de trabajadores potencialmente expuestos a riesgos ocupacionales.

- **Resolución Ministerial N° 849/14**

Esta resolución aprueba la “Norma de Señalización de Seguridad, Salud en el Trabajo y Emergencias de Defensa Civil”, la cual es la base de Guía de Señalización en la Industria (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural 2019). El cumplimiento de la guía es de naturaleza obligatoria por parte del empleador.

- **Resolución Ministerial N° 437/22**

La Resolución Ministerial No. 437/2022 avala el Reglamento sobre la nominación de coordinadores, formación y toma de posesión de comités mixtos de higiene, seguridad ocupacional y bienestar”, además de una guía asociada. La normativa establece la obligatoriedad para empresas con más de 21 empleados de conformar un Comité Mixto, mientras que aquellas con 1 a 20 trabajadores deben designar un coordinador encargado de supervisar las condiciones laborales.

- **Resolución Ministerial N° 992/23**

La Resolución Ministerial del MTEPS N°992/23, emitida el 9 de junio de 2023, aprobó la “Norma Técnica de Seguridad NTS-009/23 - Programa de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo”, así como la implementación del “Sistema de Programas de Seguridad y

Salud en el Trabajo (PGSST)”.

- **NTS 009/23**

Esta norma establece las directrices de obligatorio cumplimiento, para todas las empresas o establecimientos laborales nacionales y/o extranjeros en territorio nacional, para la presentación y aprobación de los PGSST. En la Tabla 2.1 se distinguen los requerimientos esenciales de la norma. El PGSST es un documento, vigente por tres años tras ser firmado su Certificado de Aprobación Digital, que contiene el conjunto de actividades y mecanismos en materia de higiene, seguridad ocupacional y bienestar implementados en la empresa o establecimiento laboral.

2.2.3 Normativa voluntaria

En Bolivia, la implementación de normas técnicas voluntarias, lideradas por IBNORCA, desempeña un papel crucial en el avance industrial, comercial y social del país. Con un repertorio de más de 3.000 normativas, elaboradas a través de los Comités Técnicos de Normalización, se establece un robusto marco para impulsar la calidad, seguridad y eficacia de productos y servicios. Estas normas no solo aseguran la adecuación de productos y procesos para su uso previsto, sino que también estimulan la competitividad en los mercados, facilitan el acceso a diferentes sectores y promueven la innovación. Asimismo, proporcionan a los consumidores una referencia confiable para evaluar la calidad y seguridad de lo que adquieren. La normativa voluntaria impulsa la eficiencia empresarial, el desarrollo tecnológico, la preservación ambiental, la mejora de la salud y la accesibilidad para personas con discapacidad. En esta sección se describen algunas de las normativas voluntarias mas importantes para el desarrollo de un PGSST.

2.2.3.1 NB/ISO 62005:2005

Esta norma se refiere a la medición y evaluación del ruido ambiental. Proporciona directrices para la realización de mediciones de ruido y la interpretación de los resultados además del correspondiente estudio de higiene.

2.2.3.2 NB/ISO 55001:2005

Esta norma aborda los sistemas de señalización utilizados en entornos laborales. Establece principios para el diseño, instalación y mantenimiento de señales de seguridad.

Tabla 2.1. Descripción de actividades para la elaboración de PSST.

N°	Actividad
1	Identificación de riesgos y evaluación de riesgos mediante la Matriz IPER
2	Estudios de Higiene
3	<p>Descripción de la situación Actual e implementación de propuestas con respecto a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orden y limpieza • Infraestructura • Instalaciones eléctricas • Servicios higiénicos • Vestuario y casilleros • Equipos eléctricos • Maquinaria equipos y herramientas • Almacenamiento, manipulación y transporte de sustancias peligrosas • Gestión de residuos y señalización • Ergonomía
4	Planificación de Capacitaciones Generales y Especificas con respecto a la Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (IPER).
5	Organización y Conformación del Comité Mixto de Higiene y Salud Ocupacional.
6	<p>Elaboración del Plan de Emergencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de Evacuación • Procedimiento de Intervención • Manual de Primeros Auxilios
7	Evaluación de Técnico Social.

Fuente: Adaptado de “Diseño de un programa de seguridad y salud en el trabajo de acuerdo a la Norma Técnica de Seguridad NTS-009/18. Caso: Empresa de Embutidos y Fiambres “San Andrés”” (2022)

2.2.3.3 NB/ISO 51002:2012

Esta norma trata sobre los requerimientos mínimos de niveles de iluminación en lugares de trabajo. Define niveles mínimos de iluminación para asegurar condiciones seguras y saludables. Es la base para realizar el estudio de higiene de iluminación.

2.2.3.4 NB/ISO 7243:2018

Aborda la exposición al calor y al frío en el trabajo. Proporciona directrices para evaluar y controlar los riesgos relacionados con el estrés térmico utilizando el índice de temperatura de bulbo húmedo y de globo. Es la base teórica para realización del estudio de estrés térmico.

2.2.3.5 NB/ISO 45001:2018

La normativa ISO 45001:2018 establece los requisitos esenciales para instaurar un SGSST. El propósito principal de la ISO 45001 es asistir a las organizaciones en el establecimiento y mantenimiento de lugares de trabajo seguros y saludables, disminuyendo los riesgos de lesiones y problemas de salud derivados del trabajo. A través de la aplicación de este sistema de gestión, se fomenta la prevención proactiva, la identificación y evaluación de riesgos, así como la mejora continua del desempeño en materia de seguridad y salud. En última instancia, la adhesión a esta normativa contribuye a crear entornos laborales más seguros, saludables y productivos para todos los implicados. Esta norma permite a las compañías alinearse con otras normativas reconocidas, como la ISO 9001 para la Gestión de la Calidad y la ISO 14001 para el Medio Ambiente, facilitando así una gestión integrada y eficiente.

2.2.3.6 NB/ISO 51001:2022

Esta norma se centra en la ventilación en entornos laborales, estableciendo límites de referencia y estándares de supervisión para la ventilación general en estos lugares. Sin embargo, no se aplica a sistemas de extracción localizada ni a entornos donde haya una presencia constante de contaminantes químicos.

2.2.3.7 NB/ISO 58005:2022

Esta norma se centra en la carga de fuego en edificaciones. Proporciona criterios para evaluar la resistencia al fuego de materiales y componentes. Es el documento base para la elaboración de Estudio de Higiene Carga de Fuego.

2.2.3.8 NB/ISO 11226:2022

Esta regulación proporciona directrices ergonómicas para distintas actividades en ambientes laborales. Su propósito es informar a quienes están implicados en la planificación o ajuste de espacios de trabajo, así como en tareas y productos laborales, y que posean conocimientos básicos sobre ergonomía y posturas laborales. Busca orientar en la evaluación de las posturas adoptadas por los trabajadores durante sus labores, facilitando la identificación de riesgos de sobrecarga biomecánica causados por posturas forzadas. A partir del 2023, se convierte en un elemento fundamental para la elaboración de un PGSST, ya que el estudio de ergonomía pasa a ser obligatorio, siendo esta regulación la base de dicho estudio.

2.3 Metodologías de Desarrollo de Software

El desarrollo de software es el proceso de crear, probar y mantener productos y servicios de software que satisfagan las expectativas de usuarios, clientes o partes interesadas. Las metodologías de desarrollo de software son marcos o modelos que guían el proceso de desarrollo de software y definen los roles, responsabilidades, actividades y entregables del equipo de desarrollo de software. En los últimos años, las metodologías ágiles han ganado popularidad por su enfoque flexible y adaptable.

Agile integra una filosofía y un conjunto de pautas que fomentan la satisfacción del cliente y la entrega temprana e incremental del software. Esto se logra mediante equipos pequeños y altamente motivados, métodos informales y una simplificación del proceso de desarrollo (Pressman 2005). Las pautas ágiles priorizan la entrega sobre el análisis y el diseño, manteniendo una comunicación activa y continua entre desarrolladores y clientes. Así, Agile se centra en la entrega iterativa e incremental de software en lugar de seguir un enfoque lineal y secuencial.

2.3.1 Programación Extrema

La metodología ágil de desarrollo orientada a objetos, conocida como Programación Extrema (XP), busca promover prácticas de ingeniería adecuadas para la creación de software. Esta metodología se divide en cuatro etapas: planificación, diseño, programación y pruebas (Pressman 2005). Bajo esta metodología, la planificación implica la escucha activa de los clientes para comprender el contexto del negocio y definir las funcionalidades requeridas mediante historias o historias de usuario. Cada historia recibe una valoración por parte del cliente según su importancia, y el equipo de desarrollo estima el tiempo necesario para su implementación.

Posteriormente, el equipo y el cliente eligen qué historias incluir en la próxima versión del

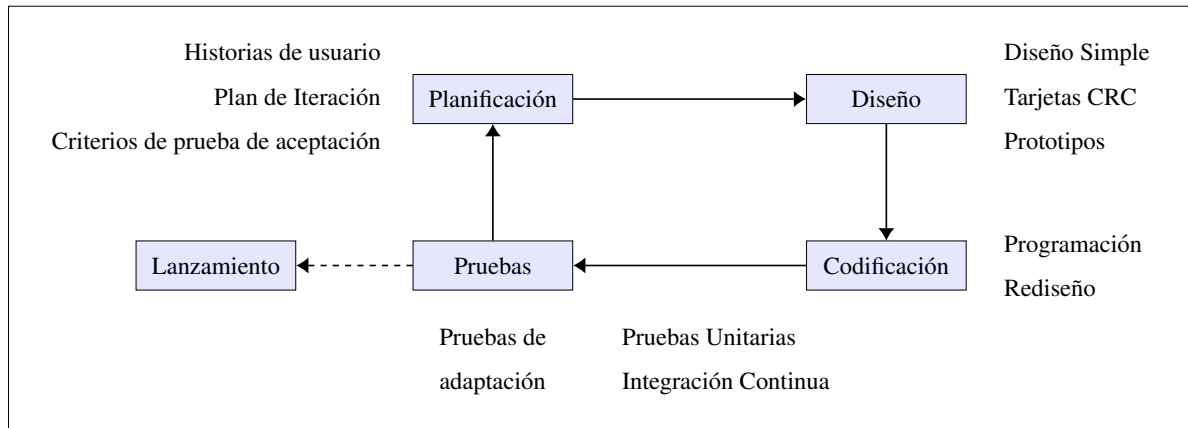


Figura 2.1. Proceso de desarrollo bajo la metodología de Programación Extrema.
Elaboración propia a partir de “*Software engineering: a practitioner’s approach*” (2005).

software. Tras la entrega inicial, se calcula la velocidad del proyecto para estimar fechas de entrega y evaluar el compromiso del proyecto. Durante el desarrollo, el cliente puede modificar las historias, y el equipo ajusta los planes en consecuencia. La programación se inicia después de desarrollar pruebas unitarias para cada historia, empleando la programación en pareja para mejorar la calidad del código. Tras completar el código, se realiza integración continua con pruebas de integración y validación diarias. Finalmente, se llevan a cabo pruebas de aceptación, que validan las características visibles y revisables por el cliente.

La metodología XP es relevante para este proyecto debido a su enfoque en la colaboración continua con el cliente y la mejora constante a través de iteraciones rápidas, lo que garantiza que el software final cumpla con las expectativas y necesidades del usuario.

2.3.2 Programación Extrema Personal

La Programación Extrema Personal (PXP) es un proceso de desarrollo de software diseñado para ser utilizado individualmente por ingenieros de software. Su objetivo es simplificar el Proceso de Software Personal (PSP) reduciendo la cantidad de scripts y datos necesarios, manteniendo los principios básicos de PSP y disminuyendo la documentación y esfuerzos de mantenimiento. PXP incorpora prácticas de desarrollo de XP adecuadas para desarrolladores autónomos (Dzhurov et al. 2009).

Como se ilustra en la Figura 2.2, el proceso de PXP consta de tres etapas: identificación de requerimientos, planificación e iteraciones de desarrollo. La planificación de requisitos y tareas se realiza generalmente para todo el proyecto, con ajustes posibles si los requisitos

cambian. Las iteraciones de desarrollo incluyen el inicio y la retrospectiva de la iteración. Durante todo el proceso, el desarrollador debe mantener registros de planificación, duración real, sugerencias de mejora y detalles de defectos.

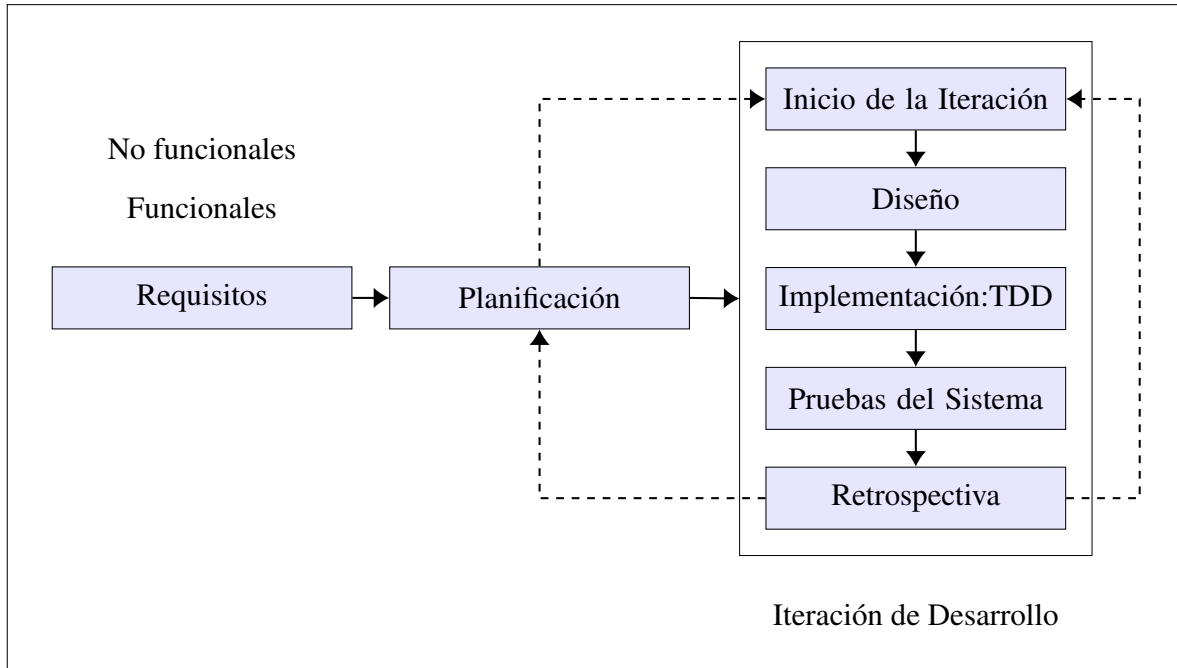


Figura 2.2. Proceso de desarrollo bajo la metodología PXP.

Elaboración propia a partir de “*Personal Extreme Programming—An Agile Process for Autonomous Developers*” (2009).

A continuación, se describen las fases principales del proceso PXP:

1. **Identificación de Requisitos:** Se elabora un documento con los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.
2. **Planificación:** El desarrollador elabora un conjunto de tareas a partir de los requisitos del documento, desglosándolas en subtareas y estimando su duración con base en experiencias previas o suposiciones fundamentadas. Además, se toman decisiones cruciales de diseño, como seleccionar el lenguaje de programación y el marco de desarrollo.
3. **Inicio de la Iteración:** Marca el inicio de cada iteración, donde se seleccionan las tareas que se abordarán. Las iteraciones duran entre 1 y 3 semanas y pueden resultar en un candidato a lanzamiento o en una versión liberada del producto.
4. **Diseño:** Modelado de los módulos y clases necesarios para la iteración, centrándose en cumplir con los requisitos actuales sin intentar prever futuros requerimientos.
5. **Implementación:** Se genera el código y se realizan pruebas utilizando TDD, abarcando tres subfases: pruebas unitarias, generación de código y refactorización. El código debe

compilarse sin errores y superar todas las pruebas unitarias.

6. **Pruebas del Sistema:** Se verifica que la solución cumpla con los requisitos iniciales y se registran y corrigen todos los defectos encontrados.
7. **Retrospectiva:** Al final de cada iteración, se analizan los datos recopilados, revisando la precisión de las estimaciones y las causas de posibles retrasos. Se proponen y implementan mejoras en el proceso para evitar problemas futuros. La retrospectiva puede iniciar una nueva iteración o marcar el final del proyecto si se han cumplido todos los requisitos y no quedan defectos.

La metodología PXP es ideal para este proyecto, ya que permite a los desarrolladores trabajar de forma autónoma y eficiente, manteniendo un enfoque estructurado que garantiza la calidad del software desarrollado individualmente. Mas aun, para evaluar el proyecto de grado, se añade una fase de cierre y evaluación enfocada en analizar el desempeño del producto en su etapa de mínimo viable, asegurando una revisión detallada de su rendimiento real.

2.3.2.1 Técnica MoSCoW

En la gestión de proyectos, especialmente aquellos de desarrollo de software, es crucial establecer prioridades claras para asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente y que los objetivos del proyecto se cumplan en tiempo y forma. Marthasari et al. (2018) recomienda el uso en conjunto de la metodología PXP con la técnica de MoSCoW para jerarquizar la elicitación de requisitos. El acrónimo MoSCoW representa cuatro categorías de iniciativas: *Must-have*(imprescindibles), *Should-have*(deseables), *Could-have*(Posibles) y *Won't-have this time*(no necesarias por ahora).

De acuerdo a esta técnica, los requisitos **imprescindibles** son aquellos sin los cuales el proyecto no sería legal, seguro o viable. Para determinar si un requisito pertenece a esta categoría, se formula la pregunta: ¿Qué pasa si este requisito no se cumple?. Si la respuesta es cancelar el proyecto, entonces es un requisito imprescindible. Si hay alguna alternativa, aunque sea un proceso manual y doloroso, el requisito se clasifica como **deseable** o **posible**.

Los requisitos deseables son importantes pero no vitales. Aunque su ausencia podría ser incómoda, la solución sigue siendo viable pudiendo necesitar algún tipo de solución temporal. La diferencia entre un deseable y un posible radica en el grado de inconveniencia que causa no cumplir con el requisito, medido en términos de valor comercial o la cantidad de personas afectadas. Los requisitos posibles son deseables pero menos importantes y son los primeros en ser elimi-

nados si el proyecto enfrenta problemas y se debe ajustar el plazo de entrega. Finalmente, los **no necesarias por ahora** son requisitos que se acuerda no entregar en esta etapa o iteración del proyecto, ayudando a aclarar el alcance y a gestionar las expectativas.

Se puede así entender que la importancia de la técnica MoSCoW radica en la la priorización y gestión de requisitos, asegurando que se enfoquen los recursos en las funcionalidades más críticas y se mantenga el control del alcance del proyecto.

2.3.3 *Software como Servicio*

El software como servicio (SaaS) es un modelo de distribución de software donde las aplicaciones se alojan en servidores de un proveedor y se accede a ellas a través de Internet (Villamor Rojas 2017). Este modelo elimina la necesidad de instalar y mantener el software en los equipos locales del usuario. Entre las ventajas del SaaS se incluyen la reducción de costos de infraestructura, actualizaciones automáticas, escalabilidad, accesibilidad desde cualquier lugar con conexión a Internet y la facilidad para integrar con otros sistemas y servicios.

2.4 *Análisis y Evaluación de Software*

En el análisis y evaluación de software, es fundamental considerar diversos modelos y estándares de calidad que guíen el desarrollo de productos de software, entre algunos de estos se encuentran los siguientes:

2.4.1 *Estándar ISO 25000:2014*

La ISO 25000, también conocida como SQuaRE (Requisitos y Evaluación de Calidad de Sistemas y Software), representa un conjunto de estándares diseñados para evaluar la calidad del software. Esta familia de normas facilita la organización, mejora y unificación de dos procesos fundamentales: la especificación de los requisitos de calidad del software y la evaluación de su calidad, respaldados por un proceso de medición específico. Surgiendo como una evolución de normativas previas como la ISO 9126, que detalla un modelo de calidad para productos de software, y la ISO 14598, centrada en la evaluación de estos productos, la norma ISO 25000 proporciona criterios para la especificación de requisitos de calidad, métricas y evaluación, así como un modelo de calidad que armoniza las definiciones de calidad de los clientes con los atributos durante el proceso de desarrollo (International Organization for Standardization 2014).

La regulación consiste en cinco áreas principales, que abarcan desde la gestión hasta

la evaluación de la calidad del producto software, dentro de la familia de normativas ISO 25000, estas son:

- **ISO 2500n-Gestión de Calidad:** Este apartado define los modelos, términos y definiciones comunes que se utilizan en las otras normativas de la familia 25000.
- **ISO 2501n-Modelo de Calidad:** Se presentan modelos de calidad detallados incluyendo características para calidad interna, externa y en uso del producto software.
- **ISO 2502n-Medición de Calidad:** Contiene modelos de referencia de la medición de la calidad del producto, definiciones de medidas de calidad tanto interna como externa y en uso además de guías prácticas para su aplicación.
- **ISO 2503n-Requisitos de Calidad:** Especifica requisitos de calidad que pueden ser utilizados en el proceso de traslado de información de requisitos de calidad del producto software a desarrollar o como entrada del proceso de evaluación.
- **ISO 2504n-Evaluación de Calidad:** Proporciona requisitos, recomendaciones y guías para llevar a cabo el proceso de evaluación del producto software.

En consecuencia, con el propósito de asegurar que los atributos funcionales (como la adecuación, precisión, conformidad, interoperatividad y seguridad) y los no funcionales (como la fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad) sean cumplidos al máximo, se llevan a cabo diversas pruebas, tales como pruebas unitarias, de integración, de regresión, de sistemas, de desempeño, de carga, de estrés, entre otras.

2.4.2 Método Objetivo-Pregunta-Métrica

El método Objetivo-Pregunta-Métrica (GQM, por sus siglas en inglés) es una técnica estructurada que se utiliza para evaluar la calidad del software y la eficacia de los procesos de desarrollo. Esta metodología es importante en el marco teórico del trabajo de tesis porque proporciona una manera sistemática de conectar los objetivos estratégicos y operacionales con las métricas que realmente importan para el proyecto.

El método GQM se basa en definir objetivos específicos, formular preguntas que reflejen estos objetivos y desarrollar métricas que proporcionen datos cuantitativos para responder a las preguntas planteadas (Van Solingen et al. 1999). En el contexto de la evaluación de calidad de software, el método GQM permite a los equipos de desarrollo alinearse con los objetivos estratégicos y operacionales, asegurando que las métricas utilizadas sean relevantes y útiles para la toma de decisiones tal y como lo demuestra Lavadenz Maceda et al. (2021) al usar este

método para seguir los lineamientos del estándar ISO 25000:2014.

El método GQM asegura una evaluación precisa y orientada a objetivos específicos de la calidad del software, permitiendo una mejora continua y alineada con los estándares internacionales. Esto es esencial para garantizar que el software desarrollado cumpla con los requisitos de calidad y satisfacción del cliente.

2.5 Inteligencia Artificial

La IA es una rama de la ciencia de la computación que se dedica a abordar desafíos cognitivos, principalmente asociados a la inteligencia humana, tales como el proceso de aprendizaje, la resolución de problemas y la identificación de patrones (Kim 2019). Por tanto, el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial tienen como finalidad la construcción de sistemas informáticos que puedan ejecutar actividades que comúnmente implican inteligencia humana. Mientras que la programación tradicional depende de los programadores para definir lógica e instrucciones explícitas específicas de escenarios, ML permite a las máquinas aprender de manera autónoma y tomar decisiones sin instrucciones detalladas para cada tarea. Naturalmente estos sistemas, dotados de inteligencia artificial, se diseñan para reconocer ciertos contextos y tomar decisiones para satisfacer ciertas necesidades (International Organization for Standardization 2022). Más aun, es importante considerar que los sistemas de IA no se basan en una única tecnología, sino en una combinación de varias como se ilustra en la Figura 2.3.

2.5.1 Aprendizaje

El aprendizaje en IA se divide principalmente en dos categorías: sistemas basados en heurística y sistemas basados en aprendizaje automático.

Los sistemas basados en heurística no requieren grandes cantidades de datos para funcionar. Estos sistemas utilizan reglas predefinidas para tomar decisiones, lo que los hace rápidos y eficientes en escenarios específicos. Por otro lado, los sistemas basados en aprendizaje automático (ML) analizan grandes volúmenes de datos para identificar patrones y construir modelos predictivos. Estos modelos se entrenan utilizando algoritmos complejos que mejoran su precisión con el tiempo.

El aprendizaje automático permite a los sistemas adaptarse y mejorar continuamente, haciendo que las aplicaciones de IA sean más precisas y efectivas en tareas como la clasificación de datos y la predicción de resultados.

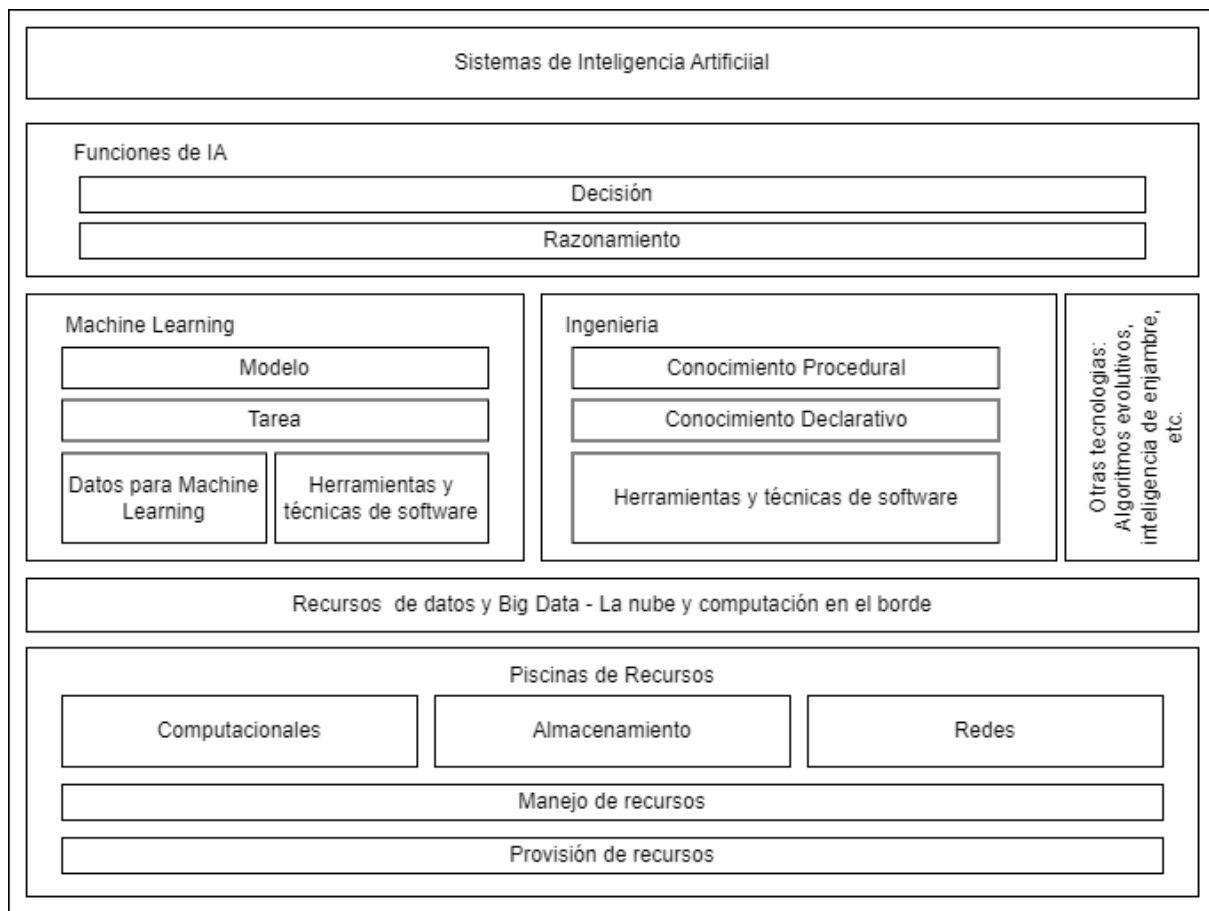


Figura 2.3. Ecosistema de un sistema de inteligencia artificial.

Elaboración propia a partir de “*Inteligencia artificial. Conceptos y terminología de inteligencia artificial*” (2022).

2.5.2 Redes Neuronales

Las redes neuronales artificiales (ANNs, por sus siglas en inglés) son modelos computacionales inspirados en el cerebro humano. Estas redes están diseñadas para reconocer patrones complejos y aprender de los datos.

Una red neuronal consta de varias capas de neuronas artificiales, que procesan la información de manera similar a las neuronas biológicas (Goodfellow et al. 2016). Estas capas incluyen:

1. **Capas de entrada:** Las neuronas de esta capa reciben los datos iniciales. Cada neurona de entrada corresponde a una característica de los datos, por lo que el número de neuronas en la capa de entrada es igual al número de características de los datos de entrada.
2. **Capas Ocultas:** Situadas entre la capa de entrada y la capa de salida, las capas ocultas realizan la mayor parte del procesamiento de datos. Estas capas pueden ser una o múltiples y consisten en neuronas que reciben entradas de la capa anterior, aplican una transformación mediante una función de activación, y pasan la salida a la siguiente ca-

pa. Las funciones de activación son componentes esenciales de las redes neuronales, ya que introducen no linealidad en el modelo, permitiendo a la red aprender y representar funciones complejas (Nielsen 2015).

3. **Capas de salida:** La capa final de la red produce las predicciones o clasificaciones. El número de neuronas en la capa de salida depende de la tarea específica. Por ejemplo, para una tarea de clasificación binaria, solo se necesita una neurona de salida; para la clasificación de múltiples clases, se necesita una neurona por cada clase posible.

Las redes neuronales son fundamentales en el desarrollo de sistemas de IA avanzados, ya que permiten el análisis y la interpretación de datos complejos de manera eficiente y precisa.

2.5.3 Visión Computacional

La visión computacional es una rama de la inteligencia artificial que se enfoca en capacitar a las máquinas para interpretar y comprender el contenido visual del mundo. Esta disciplina implica el desarrollo de algoritmos y modelos para procesar y analizar imágenes y videos (Szeliski 2022).

Tal y como se ilustra en la Figura 2.4. El proceso de desarrollo de modelos de visión computacional incluye la adquisición y preprocesamiento de datos, seguido de la extracción de características y la aplicación de algoritmos para realizar tareas específicas como clasificación y segmentación de imágenes. Dependiendo del enfoque utilizado, las características pueden ser determinadas manualmente o aprendidas automáticamente mediante redes neuronales (Goodfellow et al. 2016). Estas últimas son las más populares actualmente y se utilizan en tareas como clasificación, segmentación semántica, mejoramiento de imágenes, estimación de movimiento y recuperación de profundidad.(Szeliski 2022).

En conclusión, la visión computacional es una herramienta de gran utilidad para aplicaciones que requieren la interpretación de datos visuales como la clasificación de imágenes o detección de cosas en un entorno. Por ejemplo, un sistema de visión computacional podría alertar automáticamente a los trabajadores y supervisores sobre la presencia de objetos peligrosos en un área de construcción, minimizando así el riesgo de accidentes laborales.

2.5.4 Procesamiento de Lenguaje Natural(PLN)

El procesamiento de lenguaje natural (PLN) es un campo de la inteligencia artificial que se centra en la interacción entre las computadoras y los humanos utilizando el lenguaje

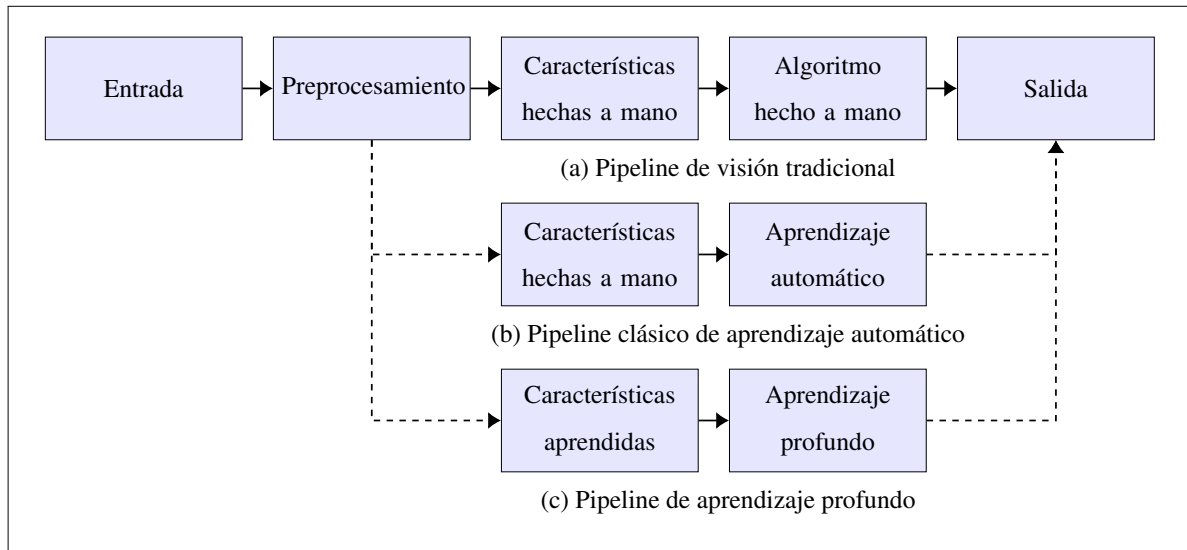


Figura 2.4. Proceso de Desarrollo de Modelos de Visión Computacional.
Elaboración propia a partir de “*Computer vision: algorithms and applications*” (2022).

natural. El objetivo del PLN es permitir a las máquinas comprender, interpretar y generar texto de una manera que sea significativa y útil (Jurafsky 2000).

El desarrollo de modelos de PLN comienza con la recopilación de datos textuales que servirán de base para el entrenamiento. Luego, estos datos se preprocesan mediante técnicas como la tokenización, lematización y eliminación de *stop words* (palabras de parada) para preparar el texto para su análisis. Una vez preprocesados, los datos se utilizan para entrenar el modelo, aplicando algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales para aprender patrones y relaciones dentro del texto. Finalmente, el modelo se evalúa y ajusta iterativamente para mejorar su precisión y efectividad (Schütze et al. 2008).

El PLN es vital para aplicaciones que involucran el análisis y la generación de texto, como chatbots y sistemas de traducción automática.

2.5.5 Modelos de Lenguaje Multimodales

Los modelos de lenguaje multimodales son sistemas que combinan información de múltiples fuentes, como texto, imágenes, audio y video, para mejorar la comprensión y generación del lenguaje. Estos modelos pueden aprender representaciones conjuntas de datos multimodales, lo que les permite realizar tareas complejas que requieren la integración de diferentes tipos de información, como la descripción de imágenes, la traducción de video a texto y la generación de subtítulos para videos (Baltrušaitis et al. 2018). La capacidad de los modelos multimodales para integrar diversas fuentes de información los hace extremadamente útiles en

aplicaciones donde se requiere una comprensión completa del contexto.

2.5.6 Evaluación de Modelos

La evaluación de los modelos de IA, sean de vision computacional, de lenguaje o de otra naturaleza es una tarea fundamental para asegurar el desempeño y efectividad de los mismos en tareas específicas. Este proceso implica el uso de diversas métricas y técnicas para medir la precisión, robustez y eficiencia del modelo. Es esencial no solo verificar que el modelo cumpla con los objetivos esperados, sino también asegurar que funcione adecuadamente bajo diferentes condiciones y con diversas entradas de datos.

Primero, se emplean métricas cuantitativas tradicionales como la exactitud, precisión, exhaustividad (*recall*) y *F1-score* para evaluar el rendimiento del modelo en tareas de clasificación (Jurafsky 2000). Para modelos que generan texto basado en imágenes o videos, se utilizan métricas específicas como BLEU, ROUGE y METEOR para medir la calidad de la generación de texto (Papineni et al. 2002). Estas métricas comparan el texto generado por el modelo con un conjunto de textos de referencia, evaluando la similitud entre ellos. Además, la evaluación cualitativa mediante revisión humana asegura que las salidas del modelo sean coherentes y adecuadas para el contexto.

Otro aspecto importante es la evaluación de la robustez del modelo, es decir, su capacidad para mantener el rendimiento bajo diversas condiciones. Esto puede incluir pruebas de resistencia, donde se introduce ruido o variaciones en los datos de entrada para ver cómo se comporta el modelo (Hendrycks et al. 2019). La robustez es esencial para aplicaciones del mundo real donde las condiciones pueden variar significativamente.

En resumen, la evaluación de modelos de IA es un proceso multifacético que involucra tanto métricas cuantitativas como cualitativas, pruebas de robustez y consideraciones de eficiencia computacional. Este enfoque integral asegura que los modelos no solo sean precisos y eficaces, sino también robustos y eficientes en aplicaciones del mundo real.

2.5.7 Generación de Lenguaje Natural

La generación de lenguaje natural (GLN) es una subdisciplina del PLN que se enfoca en la creación de texto coherente y comprensible a partir de datos. Los modelos de GLN pueden generar descripciones, resúmenes, diálogos y otros tipos de texto, imitando el estilo y la estructura del lenguaje humano.

En términos generales, se puede distinguir entre tres enfoques dominantes en las arquitecturas de generación de lenguaje natural: Modular, planificada e integral (Gatt et al. 2018). Más aun, existe un consenso en la arquitectura por defecto en este campo, misma que se aprecia en la Figura 2.5. Se compone de tres etapas: El planificador de texto, que determina el contenido y la estructura general del texto. el planificador de oraciones, que desglosa este contenido en oraciones individuales, manteniendo la coherencia y cohesión. Por ultimo, el realizador convierte los planes de oración en texto natural fluido y gramaticalmente correcto. Estas etapas trabajan en secuencia para transformar datos estructurados en un texto coherente y bien formado. La GLN permite la automatización de la generación de textos en diversos contextos, mejorando la eficiencia en tareas como la redacción de informes y la creación de contenido.

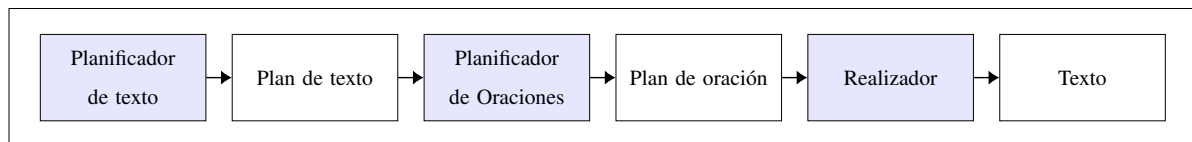


Figura 2.5. Arquitectura GLN clásica.

Elaboración propia a partir de “*Survey of the state of the art in natural language generation: Core tasks, applications and evaluation*” (2018). Los segmentos oscuros ilustran los tres módulos principales; los segmentos claros muestran las salidas.

2.5.8 Generación de Descripciones de Imágenes

La generación de lenguaje natural a partir de imágenes implica la creación de descripciones textuales basadas en el contenido visual de una imagen. Los modelos utilizados para esta tarea combinan redes neuronales convolucionales (CNNs) para el análisis de imágenes con modelos de lenguaje como RNNs o Transformers para generar texto. Esta técnica se aplica en la creación de descripciones automáticas para fotografías, la generación de subtítulos para videos y otras aplicaciones multimodales (Vinyals et al. 2015).

CAPÍTULO 3

PROPUESTA DE PROYECTO

Para el éxito de todo proyecto, es necesario desarrollar un estudio de factibilidad, que evalúe la viabilidad técnica, económica y operativa de la iniciativa propuesta. Este análisis exhaustivo proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y la asignación adecuada de recursos, minimizando los riesgos y maximizando las oportunidades de éxito.

3.1 Análisis de Costos

El análisis del proyecto se ha llevado a cabo desde dos perspectivas fundamentales: el costo de desarrollo del proyecto de grado y la proyección de los ingresos y beneficios esperados mediante la implementación del modelo de Software como Servicio (SaaS por sus siglas en inglés) en una estructura empresarial completamente virtual, donde cada programador involucrado utiliza su equipo personal para el desarrollo.

3.1.1 Costos de Desarrollo

La estimación del costo de desarrollo para el proyecto se basó en el modelo COCOMO intermedio (Basavaraj et al. 2008). Este modelo calcula el esfuerzo necesario para desarrollar software considerando el tamaño del programa y varios factores que influyen en los costos, como atributos del producto, hardware y personal. Para una evaluación más detallada de estos factores, se puede consultar la tabla de ponderación de impulsores en el anexo A.

Para la estimación del número de líneas de código se utilizó el prototipo de uno de los módulos del programa. El prototipo consta de aproximadamente 600 líneas de código. Asumiendo que el desarrollo es orgánico y que todos los módulos tendrán una longitud similar y el alcance del

proyecto de grado se limita a por lo menos tres módulos: Se espera con 1800 líneas de código. Por otro lado, de acuerdo a Glassdoor (2024) el salario promedio de desarrolladores junior en Bolivia es de Bs. 6000.

El modelo aplicado al proyecto estima inicialmente un esfuerzo de 5.93 persona-mes, que representa el trabajo requerido sin ajustar los factores específicos del proyecto. Tras aplicar estos factores de ajuste, el esfuerzo aumenta a 8.76 persona-mes, reflejando un incremento significativo debido a las particularidades del proyecto. El tiempo total estimado para el desarrollo es de 5.70 meses, sugiriendo que el proyecto se completará en menos de medio año. Para cumplir con este plazo, se necesita un equipo promedio de aproximadamente 1.54 personas.

$$\text{Costo Desarrollo MVP} = \text{Esfuerzo}(\text{Persona} - \text{Mes}) \times \text{Salario}(\text{Bs}/\text{Persona} - \text{Mes}) \quad (3.1)$$

$$\text{Costo Desarrollo MVP} = 8.76 \times \text{Bs.}6000 = \text{Bs.}52,560.00$$

Finalmente, con la ecuación 3.1 se calcula el costo de desarrollo como el producto del esfuerzo en persona-mes, el salario mensual y el numero de desarrolladores idealmente requeridos. Resultando en un costo estimado de desarrollo de Bs.52,560.00. Adicionalmente, caso se evalué el proyecto completo automatizando las siete actividades de la Tabla 2.1, por medio de la misma metodología se concluye que el proyecto completo tendría un costo de Bs.245,069.81.

3.1.2 Costos de Infraestructura

En el contexto del modelo SaaS, es crucial evaluar y seleccionar adecuadamente la infraestructura tecnológica sobre la cual se desplegará el software. Este modelo requiere una plataforma robusta y escalable que permita no solo un buen desempeño sino también una gestión eficiente de los costos a lo largo del tiempo. Para seleccionar la plataforma más adecuada para el proyecto se considerando diversos criterios técnicos y financieros. La Tabla 3.1 presenta una matriz de evaluación que compara los tres principales proveedores de servicios en la nube: Amazon Web Services (AWS), Google Cloud y Microsoft Azure. En función de varios criterios ponderados. Asumiendo AWS como servicio a utilizar y se proyectan los costos de este servicio al cambio de Bs.6.96 por dolar.

3.1.2.1 Servidores y Almacenamiento

Los costos de servidores y almacenamiento en AWS pueden variar significativamente

Tabla 3.1. Matriz de Selección de Servicios de Computación en la Nube

Criterios	Peso	AWS		Google Cloud		Microsoft Azure	
Rendimiento	15 %	5	0.75	4	0.60	4	0.60
Confiabilidad	15 %	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Escalabilidad	15 %	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Seguridad	15 %	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Costo	20 %	3	0.60	4	0.80	3	0.60
SopORTE	10 %	5	0.50	4	0.40	5	0.50
Facilidad de uso	10 %	4	0.40	4	0.40	3	0.30
Total		4.50		4.45		4.25	

según las necesidades específicas del proyecto. Para este análisis, se asume un uso moderado de los servicios, considerando un entorno de desarrollo, pruebas y producción.

- Elastic Compute Cloud (EC2): Utilizado para alojar los servidores de aplicaciones. Se estima que se utilizarán instancias t2.medium para el entorno de desarrollo y pruebas, y instancias m5.large para el entorno de producción. Asumiendo un uso continuo, los costos estimados son:

- Desarrollo y Pruebas: 2 instancias t2.medium a 0.0464 por hora cada una.

- Producción: 1 instancia m5.large a 0.096 por hora.

$$\text{Costo EC2 mensual} = (720)(2 \times \$0.0464 + \$0.096) = \$135.94 = Bs.946.14$$

- Simple Storage Service (S3): Utilizado para almacenamiento de objetos, como archivos estáticos y backups. Se estima un uso de 500 GB por mes a \$0.023 por GB.

$$\text{Costo S3 mensual} = 500 \times \$0.023 = \$11.50 = Bs.80.04$$

- Relational Database Service (RDS): Utilizado para la base de datos relacional. Se asume el uso de una instancia db.t3.medium para el entorno de producción a \$0.0416\$ por hora.

$$\text{Costo RDS mensual} = 0.0416 \times 720 = \$29.95 = Bs.208.45$$

3.1.2.2 Red y Seguridad

Además de los costos de servidores y almacenamiento, es importante considerar los costos asociados a la red y la seguridad.

- Transferencia de Datos: Se estima un tráfico mensual de 1 TB (entrada y salida), con un costo de \$0.09 por GB para los primeros 10 TB.

$$\text{Costo transferencia de datos mensual} = 1024 \times 0.09 = \$92.16 = \text{Bs.}641.43$$

- Servicios de Seguridad: Incluye AWS WAF (*Web Application Firewall*) y Amazon GuardDuty. Se estima un costo mensual combinado de aproximadamente \$50 (Bs. 348).

3.1.2.3 Costos Totales de Infraestructura

Se concluye este análisis tras haber estimado los costos totales para la infraestructura propuesta. Estos costos incluyen los gastos mensuales asociados con los servidores, la red y la seguridad, esenciales para mantener las operaciones en la nube a través de AWS. A continuación, se detalla el cálculo de estos costos:

Tabla 3.2. Detalle de Costos Mensuales de Infraestructura.

Concepto	Monto (Bs)
Servidores (EC2)	946.14
Almacenamiento (S3)	80.04
Base de Datos (RDS)	208.45
Transferencia de datos	641.43
Servicios de Seguridad	348.00
Total Costo de Infraestructura	2,224.06

Así, el costo mensual de la infraestructura mediante AWS se calcula en Bs.2,224.06. Es decir, el costo anual estimado de infraestructura en AWS es de Bs.26,668.72. Es importante destacar que estos costos pueden variar según el uso real y la optimización de recursos a lo largo del tiempo.

3.1.3 Gastos Legales

La creación de una sociedad implica una serie de gastos legales necesarios para cumplir con las normativas vigentes y asegurar su correcta constitución. Estos gastos incluyen tarifas administrativas, honorarios profesionales y otros costos relacionados. En la Tabla 3.3 se detallan los costos legales asociados a la creación de la sociedad.

Tabla 3.3. Gastos legales de creación de la sociedad.

Descripción	Costo (Bs)
Arancel de Seprec	455
Publicación Gaceta	192
Balance de apertura del contador	200
Gobierno autónomo municipal Santa Cruz	150
Honorarios notario	500
Honorarios abogado	3500
TOTAL	4997

3.1.4 Inversión Total Inicial

En la Tabla 3.4, se presenta la inversión total inicial necesaria para el proyecto. Según los cálculos, la inversión total inicial estimada para iniciar el proyecto asciende a *Bs.59,781.06*. Este monto abarca todos los aspectos indispensables para el desarrollo, implementación y operación inicial del software bajo el modelo SaaS.

Tabla 3.4. Inversión Total Inicial

Concepto	Costo (Bs)
Costo de Desarrollo	52,560.00
Costos de Infraestructura	2,224.06
Gastos Legales	4,997.00
Total	59,781.06

3.2 Evaluación de Proyecto de Inversión

La evaluación de un proyecto de inversión es fundamental para determinar su viabilidad y potencial de rentabilidad. En esta sección, se abordan tres elementos clave: la comparación costo-beneficio, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores financieros proporcionan una comprensión profunda de los ingresos proyectados frente a los costos, la rentabilidad esperada descontada a valor presente y la eficiencia general del proyecto. Este análisis integral permite tomar decisiones informadas y estratégicas sobre la inversión.

3.2.1 Comparación Costo Beneficio

El análisis financiero del proyecto asumiendo el modelo de negocio SaaS con la proyección del proyecto completo. Se calculó la relación entre los ingresos y costos anuales asumiendo un programador junior contratado para realizar el desarrollo y mantenimiento continuo del sistema; Además que inicialmente que se capta al 10 % del mercado potencial como usuarios mismos que incrementan según la tasa de incremento de profesionales SySO anual del 58.8 % visible en la Figura 1.2. Los resultados de la proyección se presentan en la Tabla 3.5 en la que se utilizó un costo por membresía de Bs.70. La relación costo-beneficio mejora significativamente a lo largo de los años, comenzando en 1.00 en el primer año y alcanzando 18 en el quinto año. Esto indica que, para el quinto año, por cada boliviano invertida, se generan alrededor de 18 bolivianos en ingresos.

Tabla 3.5. Proyección financiera del proyecto bajo el modelo SaaS.

Año	Usuarios Mensuales	Gastos Anuales (Bs)	Ingresos Anuales (Bs)	Balance Anual (Bs)	C/B
0	0	276,755.53	00.00	-276,755.53	0.00
1	330	98,688.72	277,200.00	178,511.28	2.81
2	525	98,688.72	441,000.00	342,311.28	4.47
3	834	98,688.72	700,560.00	601,871.28	7.10
4	1325	98,688.72	1,113,000.00	1,014,311.28	11.28
5	2104	98,688.72	1,767,360.00	1,668,671.28	17.91

3.2.2 Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto (VAN) es una medida financiera que calcula la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo entrantes y salientes de un proyecto. Se calcula descontando los flujos de caja futuros a una tasa de descuento y restando la inversión inicial. Para este proyecto, se utiliza una tasa de descuento del 10 %.

$$VAN = \sum \frac{ganancias}{(1 + K)^n} - \sum \frac{costos}{(1 + K)^n} \quad (3.2)$$

$$VAN = 2,135,932.70$$

El VAN se calcula restando los flujos de efectivo descontados de los costos descontados, lo que da como resultado un VAN de 2,464,402.58. Esto indica que, después de descontar los flujos de efectivo futuros y la inversión inicial, el proyecto en cuestión generaría un valor adicional de 2,464,402.58 en términos de valor presente neto. Este resultado sugiere que el proyecto tiene un potencial de rentabilidad positivo y podría ser una inversión atractiva.

3.2.3 Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero utilizado para evaluar la rentabilidad de una inversión. Representa la tasa de descuento que iguala el VAN de una serie de flujos de caja a cero. En otras palabras, la TIR es la tasa de interés que hace que el valor presente de los ingresos futuros de una inversión sea igual al costo inicial de la misma.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^{t-1}} - I = 0 \quad (3.3)$$

En la ecuación 3.3, F_t son los flujos de caja en el periodo t , n es el número total de periodos, e I es la inversión inicial. La misma se resuelve iterativamente, ya que no tiene una solución algebraica directa, especialmente cuando los flujos de caja no son constantes. El valor de la TIR es útil porque permite comparar la rentabilidad de diferentes proyectos de inversión. En general, un proyecto se considera aceptable si su TIR es mayor que la tasa mínima de rendimiento requerida o el costo de oportunidad del capital. En el contexto del proyecto evaluado, se ha determinado que la TIR es del 112 %. Este valor indica una alta rentabilidad del proyecto, ya que la tasa de retorno esperada es significativamente superior al costo de capital típico en muchos sectores.

3.2.4 Conclusión

La evaluación del proyecto de inversión mediante la comparación costo-beneficio, el VAN y el TIR revela una perspectiva prometedora. La proyección financiera muestra una mejora constante en la relación costo-beneficio, culminando en una relación de 18:1 para el quinto año. El VAN positivo de 2,135,932.70 sugiere que el proyecto no solo recuperará la inversión inicial sino que también generará un valor neto significativo. La TIR del 112 % indica una alta rentabilidad, superando ampliamente las tasas de retorno estándar en la industria. Estos resultados combinados apoyan la viabilidad y rentabilidad del proyecto, recomendando su implementación como una inversión estratégica y beneficiosa.

3.3 Análisis de Competidores

Se realizó un análisis de competidores para identificar oportunidades y amenazas en el mercado, así como para comprender la posición relativa del producto propuesto frente a sus rivales, lo cual permite formular estrategias efectivas y diferenciarse en el mercado del software de gestión de salud y seguridad.

A nivel mundial, el mercado del software de salud y seguridad ocupacional se compone de dos tipos predominantes: soluciones basadas en la nube y soluciones basadas en la web. El software basado en la nube se refiere a un sistema al que se accede a través de internet, donde los datos se almacenan y procesan en servidores remotos. Ofrece mayor flexibilidad, escalabilidad y accesibilidad. Por otro lado, el software basado en la web funciona a través de un navegador web, requiriendo conectividad a internet. Proporciona comodidad y facilidad de uso, ya que los usuarios pueden acceder al software desde cualquier dispositivo con un navegador. Subdividiéndose por aplicación en: ‘Grandes empresas’ y ‘Pequeñas y Medianas Empresas’ (PyME). Las grandes empresas necesitan software que gestione eficazmente la salud y seguridad ocupacional en diversos departamentos y ubicaciones, debido a su estructura compleja y mayor cantidad de empleados. Las PyMEs, en cambio, requieren soluciones rentables que cubran sus necesidades de gestión de salud y seguridad. Por lo tanto, el mercado ofrece aplicaciones de software adaptadas a ambos segmentos para cumplir con sus requisitos específicos y asegurar la conformidad con las normativas de salud y seguridad (Research 2024).

Rápidamente la Figura 3.1 permite observar que las tres compañías con mayor ocupación del mercado en lo que a tráfico de red se refiere son *sitedocs*, *donesafe* y *everbridge*. Estas tres empresas juntas representan más del 50 % del tráfico total, destacando su fuerte presencia y dominio en el mercado (SEMrush 2024).

A su vez, la matriz ilustrada en la Figura 3.2, divide los dominios en cuatro categorías: Jugadores de nicho, agentes de cambio, líderes y jugadores establecidos. El eje X representa el volumen total de tráfico que reciben los dominios, mientras que el eje Y muestra el porcentaje de crecimiento del tráfico total. Cada punto en el gráfico representa un dominio y su trayectoria de crecimiento durante el período seleccionado. Las líneas que conectan los puntos iniciales y finales muestran el cambio en el tráfico y la tasa de crecimiento a lo largo del tiempo.

En esta matriz, *sitedocs* se encuentra claramente en la categoría de líderes, no solo por su alto volumen de tráfico, sino también por un crecimiento positivo. Destacan los casos de *intenseye* y *smartosh* que también están en la categoría de líderes, mostrando un crecimiento

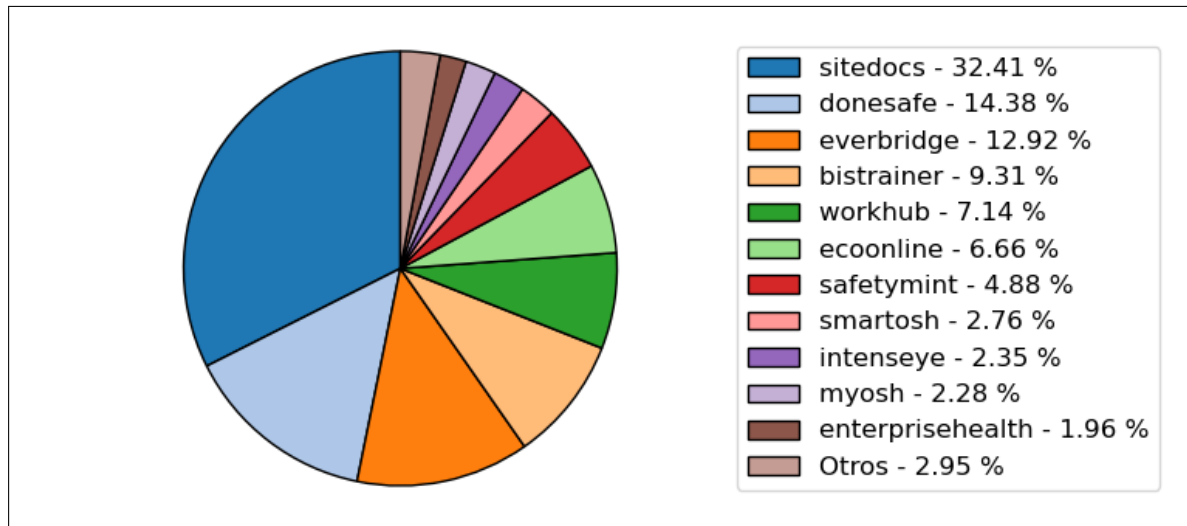


Figura 3.1. Participación de Mercado de los Principales Competidores
Elaboración propia a partir de datos obtenidos por medio de “SEMrush Market Explorer” (2024).

significativo desde la categoría de jugadores de nicho. Por otro lado, dominios como *softwareasalus* están catalogados como agentes de cambio debido a su impresionante crecimiento en el tráfico, aunque su volumen total de tráfico sea menor. Los jugadores establecidos, como *donesafe* y *workhub*, tienen un alto volumen de tráfico pero un crecimiento más estable y menos pronunciado.

Se puede concluir, en primer lugar que los agentes de cambio, como *softwareasalus*, aunque tienen menor volumen de tráfico, están creciendo rápidamente, lo que sugiere que nuevas empresas pueden irrumpir en el mercado con innovaciones significativas y atraer rápidamente a los usuarios. Además, los jugadores establecidos, con su tráfico consolidado pero crecimiento lento, representan una estabilidad en el mercado, ofreciendo una base de comparación para el rendimiento y las estrategias de retención de usuarios.

3.4 Cronograma de actividades

Como se puede apreciar en la Tabla 3.6, así como en el diagrama Gantt del apéndice B, se presenta un cronograma que detalla las fases y actividades del proyecto, que se desarrolla desde el 1 de febrero del 2024 hasta el 29 de septiembre de 2024. El mismo, siguiendo la metodología PXP se divide en tres fases principales más la adición de una cuarta a fines de evaluar el desempeño en actividad del producto. Estas etapas son: Definición de Requisitos, Planificación, Iteraciones de Desarrollo, y Cierre. Cada fase incluye entregables específicos y actividades que se ejecutarán en un periodo determinado para asegurar la implementación

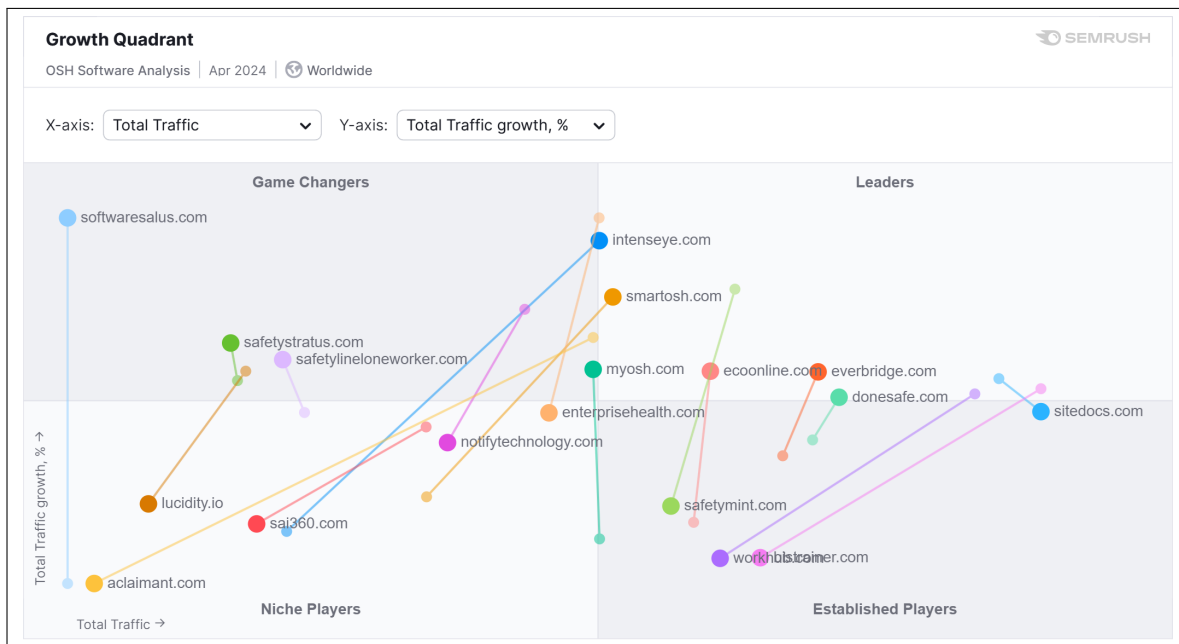


Figura 3.2. Matriz de Competidores: *OSH Software*

Fuente: Elaborado por SEMrush 2024.

exitosa del sistema.

La primera fase, Definición de Requisitos, abarca desde el 1 de febrero hasta el 10 de mayo de 2024, e incluye entregas clave como el marco referencial, avances y la defensa del perfil del proyecto. La segunda fase, Planificación, se extiende desde el 15 de marzo hasta el 30 de junio de 2024, y cubre actividades como la entrega de avances adicionales, la entrega completa del perfil, la defensa final del perfil, el análisis de procesos y el diseño de la arquitectura de alto nivel. La tercera fase, Iteraciones de Desarrollo, se lleva a cabo del 1 de julio al 1 de septiembre de 2024, con tres iteraciones de desarrollo, cada una de tres semanas. Finalmente, la fase de Cierre y Evaluación Final, del 2 de septiembre al 29 de septiembre de 2024, incluye la preparación de documentación, capacitación de usuarios, monitoreo inicial y ajustes, y pruebas con usuarios.

En conclusión, el cronograma establece un plan detallado para la implementación del sistema automatizado de gestión de PGSST, asegurando que cada fase del proyecto se ejecute de manera organizada y meticulosa. Este enfoque estructurado permite abordar de manera efectiva los objetivos del proyecto, garantizando que todas las actividades necesarias se completen dentro de los plazos establecidos, lo que facilita un desarrollo coherente y exitoso del sistema que cumplirá con los estándares y requisitos normativos en Bolivia.

Tabla 3.6. Cronograma del proyecto.

Etapas	Tareas	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Días
Def. Requisitos		01/02/2024	10/05/2024	99
	Entrega Marco Referencial	15/03/2024		1
	Entrega de avance	03/05/2024		1
	Defensa	10/05/2024		1
Planificación		15/03/2024	30/06/2024	107
	Entrega de avance	24/05/2024		1
	Entrega de perfil	07/06/2024		1
	Defensa	14/06/2024		1
	Análisis de Procesos	17/06/2024	23/06/2024	6
	Diseño de Arq.	24/06/2024	30/06/2024	6
Desarrollo		01/07/2024	01/09/2024	62
	Iteración 1	01/07/2024	21/07/2024	20
	Iteración 2	22/07/2024	11/08/2024	20
	Iteración 3	12/08/2024	01/09/2024	20
Cierre		02/09/2024	29/09/2024	27
	Preparación de Documentación	02/09/2024	08/09/2024	6
	Capacitación de Usuarios	09/09/2024	15/09/2024	6
	Monitoreo Inicial y Ajustes	16/09/2024	22/09/2024	6
	Pruebas con Usuarios	23/09/2024	29/09/2024	6

3.5 Índice tentativo

En esta sección se describen de forma detallada todos los capítulos a ser desarrollados en el proyecto de grado. En la introducción, se establecen los antecedentes de la problemática. Se plantea y define el problema a investigar, se delimitan los objetivos generales y específicos, y se justifica la relevancia del mismo desde perspectivas legal, tecnológica y social. Además, se delimitan los límites y alcances de la investigación, proporcionando un marco contextual sólido para el desarrollo del proyecto.

El desarrollo del trabajo se fundamenta en el marco teórico y legal, donde se exploran conceptos fundamentales de salud y seguridad ocupacional, así como la legislación aplicable a

la materia. Se abordan también metodologías de desarrollo de software, análisis y evaluación de software, y se profundiza en el campo de la inteligencia artificial, proporcionando un contexto amplio y diverso que sustenta la investigación los objetivos del proyecto.

Tras el marco práctico en el que se resuelve el problema. Finalmente, se presentan las conclusiones derivadas del proyecto, se ofrecen recomendaciones pertinentes basadas en los hallazgos obtenidos, y se esbozan posibles líneas de trabajo. Este índice proporciona una guía clara y estructurada del contenido que se desarrollará a lo largo del trabajo, asegurando una presentación coherente y completa del proyecto.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

1.2. Planteamiento del Problema

1.3. Definición del Problema

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

1.4.2. Objetivos específicos

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación legal

1.5.2. Justificación tecnológica

1.5.3. Justificación social

1.6. Delimitación

1.6.1. Límites

1.6.2. Alcances

2. Marco teórico y legal

2.1. Salud y Seguridad Ocupacional

2.1.1. Conceptos Fundamentales

2.1.1.1. Seguridad Ocupacional

2.1.1.2. Salud Ocupacional

2.1.1.3. Higiene Ocupacional

- 2.1.1.4. Enfermedad Ocupacional
- 2.1.1.5. Sistema de Gestión de Riesgos Ocupacionales
- 2.1.2. Accidentes e Incidentes Ocupacionales
- 2.1.3. Factores de accidentes
 - 2.1.3.1. Actos Inseguros
 - 2.1.3.2. Condición Insegura
- 2.1.4. Ingeniería de Seguridad
- 2.1.5. Práctica de Seguridad
- 2.1.6. Investigación de accidentes
- 2.1.7. Peligro
- 2.1.8. Riesgo
 - 2.1.8.1. Riesgo Físico
 - 2.1.8.2. Riesgo Mecánico
 - 2.1.8.3. Riesgo Químico
 - 2.1.8.4. Riesgo Biológico
 - 2.1.8.5. Riesgo Psicosocial
 - 2.1.8.6. Riesgo Ergonómico
 - 2.1.8.7. Riesgo Aceptable
- 2.1.9. Condiciones de Trabajo
 - 2.1.9.1. Iluminación
 - 2.1.9.2. Estrés Térmico
 - 2.1.9.3. Sonometría
 - 2.1.9.4. Ventilación
 - 2.1.9.5. Señalización
 - 2.1.9.6. Ergonomía
 - 2.1.9.7. Equipo de Protección Personal (EPP)
 - 2.1.9.8. Comité Mixto
 - 2.1.9.9. Inspección de Salud y Seguridad en el trabajo

2.2. Legislación Aplicable a la SySO

2.2.1. Contexto Histórico

2.2.2. Normativa obligatoria

2.2.2.1. Constitución Política del Estado

2.2.2.2. Ley General del Trabajo

2.2.2.3. Reglamento de la Ley General de Trabajo

2.2.2.4. Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar

2.2.2.5. Disposiciones Complementarias

2.2.3. Normativa voluntaria

2.2.3.1. NB/ISO 62005:2005

2.2.3.2. NB/ISO 55001:2005

2.2.3.3. NB/ISO 51002:2012

2.2.3.4. NB/ISO 7243:2018

2.2.3.5. NB/ISO 45001:2018

2.2.3.6. NB/ISO 51001:2022

2.2.3.7. NB/ISO 58005:2022

2.2.3.8. NB/ISO 11226:2022

2.3. Metodologías de Desarrollo de Software

2.3.1. Programación Extrema

2.3.2. Programación Extrema Personal

2.3.2.1. Técnica MoSCoW

2.4. Análisis y Evaluación de Software

2.4.1. Estándar ISO 25000:2014

2.4.2. Método Objetivo-Pregunta-Métrica

2.5. Inteligencia Artificial

2.5.1. Aprendizaje

2.5.2. Redes Neuronales

2.5.3. Visión Computacional

2.5.4. Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN)

2.5.5. Modelos de Lenguaje Multimodales

2.5.6. Evaluación de Modelos

2.5.7. Generación de Lenguaje Natural

2.5.8. Generación de Descripciones de Imágenes

3. Marco Practico

3.1. Revisión de Requisitos

3.2. Análisis de procesos actuales

3.3. Establecimiento de arquitectura del sistema

3.3.1. Alto nivel

3.3.2. Detalle

3.3.3. Base de Datos

3.4. Implementación del sistema

3.5. Evaluación de la calidad del software

4. Marco Analítico

4.1. Resultados y Discusión

4.2. Análisis de Costos

4.2.1. Costos de Desarrollo

4.2.2. Costos de Infraestructura

4.2.2.1. Servidores y Almacenamiento

4.2.2.2. Red y Seguridad

4.2.2.3. Costos Totales de Infraestructura

4.2.3. Gastos Legales

4.2.4. Inversión Total Inicial

4.3. Evaluación de Proyecto de Inversión

4.3.1. Comparación Costo Beneficio

4.3.2. Valor Actual Neto

4.3.3. Tasa Interna de Retorno

4.3.4. Conclusión

4.4. Análisis de Competidores

4.5. Conclusión del capítulo

5. Marco Conclusivo

5.1. Conclusiones

5.2. Recomendaciones

5.3. Trabajos Futuros

6. Bibliografía, Apéndices y Anexos

BIBLIOGRAFÍA

- ASAMBLEA CONSTITUYENTE DE BOLIVIA, 2009. *Constitución Política del Estado (CPE)*.
- BALTRUŠAITIS, Tadas; AHUJA, Chaitanya y MORENCY, Louis-Philippe, 2018. Multimodal machine learning: A survey and taxonomy. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. Vol. 41, n.º 2, págs. 423-443.
- BASAVARAJ, MJ y SHET, KC, 2008. Empirical validation of Software development effort multipliers of Intermediate COCOMO Model.
- BRAUER, Roger L, 2022. *Safety and health for engineers*. John Wiley & Sons.
- CAHUASIQUITA LOZA, Jhesicka et al., 2022. *Diseño de un programa de seguridad y salud en el trabajo de acuerdo a la Norma Técnica de Seguridad NTS-009/18. Caso: Empresa de Embutidos y Fiambres "San Andrés"*. Tesis doct.
- DZHUROV, Yani; KRASTEVA, Iva e ILIEVA, Sylvia, 2009. Personal Extreme Programming—An Agile Process for Autonomous Developers.
- EDICIONES NACIONALES SERRANO, 2019. *COMPENDIO LEY GENERAL DEL TRABAJO*. SERRANO COLECCION JURIDICA, n.º 13978. ISBN 9789990589108.
- ELLAHHAM, Samer; ELLAHHAM, Nour y SIMSEKLER, Mecit Can Emre, 2020. Application of Artificial Intelligence in the Health Care Safety Context: Opportunities and Challenges. *American Journal of Medical Quality*. Vol. 35, págs. 341-348. ISSN 1555824X. Disp. desde DOI: 10.1177/1062860619878515.
- GATT, Albert y KRAHMER, Emiel, 2018. Survey of the state of the art in natural language generation: Core tasks, applications and evaluation. *Journal of Artificial Intelligence Research*. Vol. 61, págs. 65-170.
- GLASSDOOR, 2024. *Junior Software Developer Salaries in Bolivia*. Disponible también desde: https://www.glassdoor.com/Salaries/bolivia-junior-software-developer-salary-SRCH_IL.0,7_IN30_K08,33.htm.

- GOBIERNO DE BOLIVIA, 2004. *Decreto Supremo 27324, Artículo 15* [1]. Accedido el 18 de Abril de 2024.
- GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua y COURVILLE, Aaron, 2016. *Deep learning*. MIT press.
- HATZIUS, Jan et al., 2023. The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth. *Goldman Sachs*.
- HENDRYCKS, Dan y DIETTERICH, Thomas, 2019. Benchmarking neural network robustness to common corruptions and perturbations. *arXiv preprint arXiv:1903.12261*.
- INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, 2005. *NORMA BOLIVIANA NB 62005:2005 Calidad del aire - Ruido ambiental - Vocabulario*.
- INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, 2012. *NORMA BOLIVIANA NB 51002:2012 Condiciones mínimas de niveles de iluminación en los lugares de trabajo*.
- INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, 2018. *NORMA BOLIVIANA NB 7243:2018 Evaluación del estrés térmico utilizando el índice WBG*.
- INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, 2023. *NORMAS DE ERGONOMÍA*.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014. *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo*. Disponible también desde: <https://www.iso.org/standard/64764.html>.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018. *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo [ISO 45001:2018]*. Disponible también desde: <https://www.iso.org/standard/63787.html>.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2022. *Inteligencia artificial. Conceptos y terminología de inteligencia artificial*.
- JAROTA, Maciej, 2023. Artificial intelligence in the work process. A reflection on the proposed European Union regulations on artificial intelligence from an occupational health and safety perspective. *Computer Law and Security Review*. Vol. 49. ISSN 02673649. Disp. desde DOI: 10.1016/j.clsr.2023.105825.
- JURAFSKY, Dan, 2000. *Speech & language processing*. Pearson Education India.

- KIM, Jeong Beom, 2019. Implementation of artificial intelligence system and traditional system: a comparative study. *Journal of System and Management Sciences*. Vol. 9, n.º 3, págs. 135-146.
- KREKEL, Christian; WARD, George y DE NEVE, Jan-Emmanuel, 2019. Employee well-being, productivity, and firm performance: Evidence and case studies. *Global happiness and wellbeing*.
- LAVADENZ MACEDA, Adriana Mariel et al., 2021. *Plataforma virtual para prevención de suicidio e intervención en momentos de crisis*. Tesis doct.
- MARTHASARI, Gita; SUHARSO, Wildan y ARDIANSYAH, Frendy Ardiansyah, 2018. Personal Extreme Programming with MoSCoW Prioritization for Developing Library Information System. *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics*. Vol. 5, n.º 1, págs. 537-541.
- MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL, 2019. *GUÍA PARA SEÑALIZACIÓN EN LA INDUSTRIA*. La Paz, Bolivia: Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. Revisión: Miguel Ángel Moscoso Rodríguez, Director General de Servicio y Control Industrial. Contenido y redacción: Wilder Fernando Aguilar Quispe, Técnico en Calidad e Inocuidad Alimentaria.
- MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL, 2024. *Bolivia registra más de 12.300 nuevas empresas en el último año y continúan las medidas de fomento a la producción nacional*. Disponible también desde: <https://produccion.gob.bo/?p=20679>.
- MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y PREVISIÓN SOCIAL, 2023a. *Ergonomía y Procedimiento de Evaluación de Riesgos Disergonómicos*. Disponible también desde: https://www.mintrabajo.gob.bo/?page_id=434.
- MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y PREVISIÓN SOCIAL, 2023b. *Programa de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Disponible también desde: <https://www.ppolegal.com/wp-content/uploads/2023/06/NTS-009.pdf>.
- MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y PREVISION SOCIAL, 1979. *Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar* [Decreto Ley No. 16998]. Disponible también desde: <https://www.consultores-ambientales.com.bo/wp-content/uploads/2016/04/11.-Ley-de-Higiene-Seguridad-Ocupacional-y-Bienestar.pdf>.

- MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y PREVISION SOCIAL, 2018. *Programa de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Disponible también desde: https://d2labml0vmb1kx.cloudfront.net/files/news/documents/1550854319_nts-009-norm-t-cnica-de-aprobaci-n-de-programas-anexo-a-rm-1411-.pdf.
- MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y PREVISION SOCIAL, 2022. *Reglamento para la designación de Coordinadores, Conformación y Posesión de Comités Mixtos de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar*. Disponible también desde: <https://www.mintrabajo.gob.bo/wp-content/uploads/2022/06/RESOLUCION-437-22-REGLAMENTO.pdf>.
- MORANT, Rafael Cervantes; SILVA, Herland Tejerina; LÓPEZ, Margarita Garnica; AYLLÓN, Luis Quinteros; SULLAEZ, Lía Lopez y BARRERA, Karla Noya, 2011. *Diagnóstico Situacional en Seguridad y Salud en el Trabajo en Bolivia* [Instituto Salud y Trabajo (ISAT), Gobierno de Canadá]. Disponible también desde: https://www.researchgate.net/profile/Herland-Tejerina/publication/259459558_Diagnostico_Situacional_en_Seguridad_y_Salud_en_el_Trabajo_-_Boliva/links/0046352bc526aaf1e9000000/Diagnostico-Situacional-en-Seguridad-y-Salud-en-el-Trabajo-Boliva.pdf.
- NIELSEN, Michael A, 2015. *Neural networks and deep learning*. Vol. 25. Determination press San Francisco, CA, USA.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, 1997. *Thesaurus de la OIT*. Disponible también desde: <https://metadata.ilo.org/thesaurus/1988838150.html>. Consultado el 16 de abril de 2024.
- PAPINENI, Kishore; ROUKOS, Salim; WARD, Todd y ZHU, Wei-Jing, 2002. Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. En: *Proceedings of the 40th annual meeting of the Association for Computational Linguistics*, págs. 311-318.
- PLATTO, Sara; WANG, Yanqing; ZHOU, Jinfeng y CARAFOLI, Ernesto, 2021. History of the COVID-19 pandemic: Origin, explosion, worldwide spreading. *Biochemical and biophysical research communications*. Vol. 538, págs. 14-23.
- PRESSMAN, Roger S, 2005. *Software engineering: a practitioner's approach*. Palgrave macmillan.
- RESEARCH, Kingpin Market, 2024. *Occupational Health and Safety Software Market Research Report Forecasted for Period from 2024 - 2031 by Market Type, Market Application, and Region*. Disponible también desde: <https://github.com/luckyshygirl/Market->

Research - Report - List - 2 / blob / main / occupational - health - and - safety - software-market.md.

SCHÜTZE, Hinrich; MANNING, Christopher D y RAGHAVAN, Prabhakar, 2008. *Introduction to information retrieval*. Vol. 39. Cambridge University Press Cambridge. Disponible también desde: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/>.

SEMRUSH, 2024. *SEMrush Market Explorer*. Disponible también desde: <https://www.semrush.com/market-explorer/overview?q=smartosh.com&country=Worldwide&type=custom&id=160118>.

SOLTANIFAR, Mehrdad, 2022. *ISO 45001 implementation: How to become an occupational health and safety champion*. Productivity Press.

SZELISKI, Richard, 2022. *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Nature.

VALVERDE-MENDOZA, Magna Teodomira, 2022. La enfermedad ocupacional en el régimen laboral de la actividad privada. *QuantUNAB*.

VAN SOLINGEN, Rini y BERGHOUT, Egon W, 1999. *The Goal/Question/Metric Method: a practical guide for quality improvement of software development*. McGraw-Hill.

VILLAMOR ROJAS, Daniel, 2017. *Estructura clúster failover para la alta disponibilidad de datos críticos y continuidad del negocio*. Tesis doct.

VINYALS, Oriol; TOSHEV, Alexander; BENGIO, Samy y ERHAN, Dumitru, 2015. Show and tell: A neural image caption generator. En: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, págs. 3156-3164.

APÉNDICE A

ENTREVISTA: ING PAOLA ALIENDRE

1. ¿Cuál considera usted que es el aspecto más complejo entre los 13 pasos, puntos o documentos que se deben presentar al subir el PGSST a la página? ¿Por qué? ¿O cuál demanda más tiempo para completarse?

De todos los 13 pasos, puntos o documentos que se presentan cuando se sube el PSCT a la página, el más complicado es el punto uno, que describe todas las condiciones de la empresa. Este punto es crucial ya que contiene el soporte técnico de cómo implementar la seguridad, y además se han añadido otros complementos como la gestión de la ergonomía y la parte psicosocial.

2. ¿Cuánto tiempo requiere la elaboración del punto uno?

En todo el programa de gestión, el punto uno toma alrededor del 30-40 % del tiempo total.

3. ¿Cuánto tiempo, en términos generales, toma completar todo el programa? Por ejemplo, en días o meses.

Dependiendo del tamaño de la empresa, la implementación del programa completo puede llevar desde tres meses hasta incluso seis meses en el caso de pequeñas empresas sin ningún sistema previo.

4. ¿Cuáles características le gustaría que el sistema a desarrollar posea?

Se desea un programa que facilite la aplicación de los métodos de gestión de seguridad, especialmente para las pequeñas y medianas empresas, con características que agilicen el proceso y reduzcan los tiempos de desarrollo y de cumplimiento legal.

5. ¿Podría proporcionarme acceso a una base de datos de proyectos de salud y seguridad previamente realizados para utilizarlos como referencia? ¿O qué alternativas sugiere para obtener recursos similares?

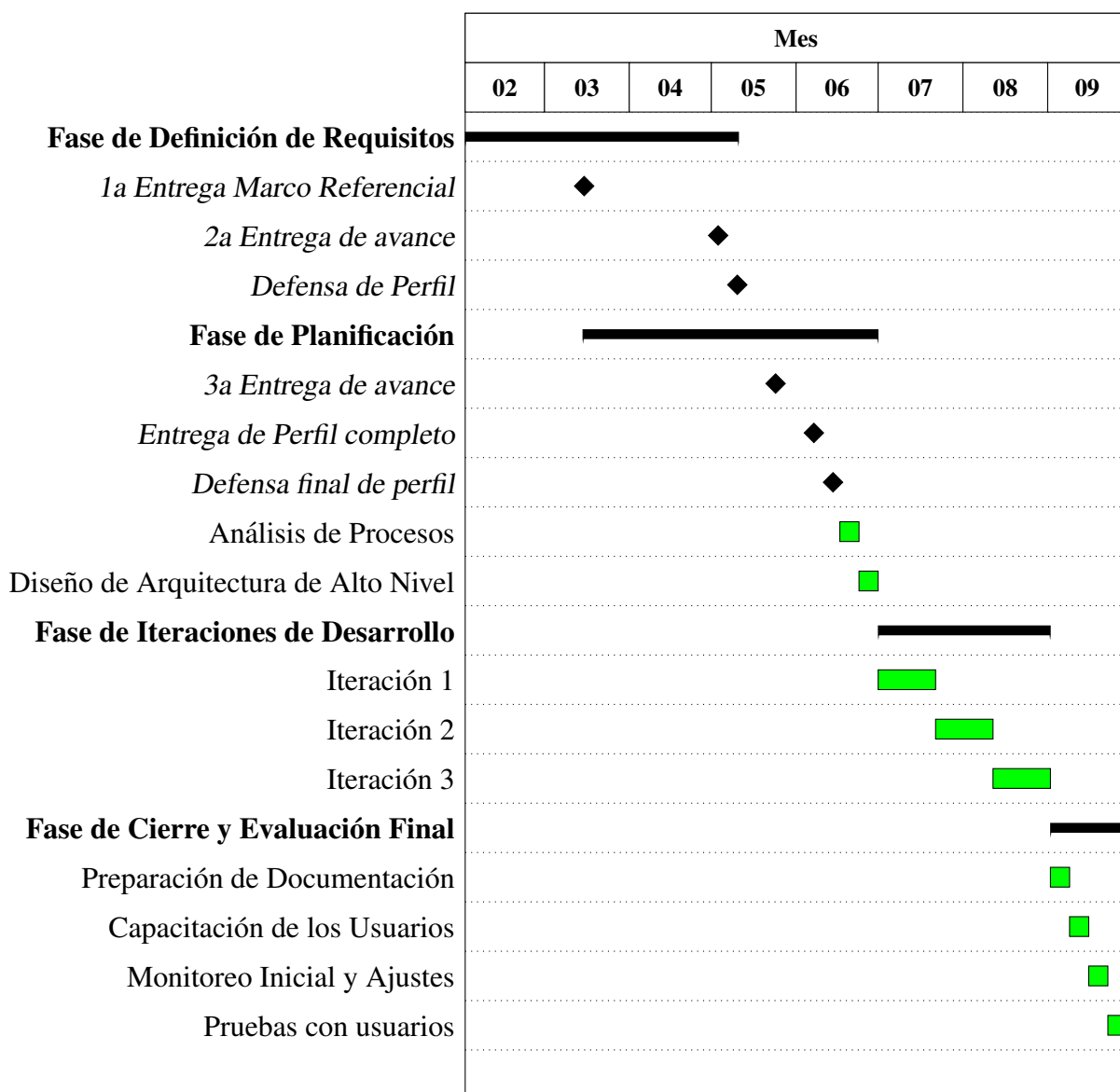
No es posible obtener acceso a una base de datos de proyectos de salud y seguridad ya hechos, pero se sugiere buscar en las bases de datos de las universidades, como la UMSA, donde se pueden encontrar proyectos de grado relacionados con seguridad y salud laboral.

6. ¿Dónde podría obtener estadísticas referente al PGSST en Bolivia?

La información sobre el sistema de gestión de seguridad se puede encontrar consultando registros en el Ministerio del Trabajo, donde se registran las empresas formales y sus sistemas de gestión.

APÉNDICE B

DIAGRAMA GANTT DEL PROYECTO



ANEXO A

PARÁMETROS: COCOMO INTERMEDIO

Controladores de Costo	Calificaciones					
	Muy Bajo	Bajo	Nominal	Alto	Muy Alto	Extra Alto
Atributos del Producto						
Fiabilidad del software requerida	0.75	0.88	1.00	1.15	1.40	
Tamaño de la base de datos de la aplicación		0.94	0.88	1.00	1.15	
Complejidad del producto	0.70	0.85	1.00	1.15	1.30	1.65
Atributos del Hardware						
Restricciones de rendimiento en tiempo de ejecución			1.00	1.11	1.30	1.66
Restricciones de memoria			1.00	1.06	1.21	1.56
Volatilidad del entorno de máquina virtual		0.87	1.00	1.07	1.15	
Tiempo de respuesta requerido		0.87	1.00	1.07	1.15	
Atributos del Personal						
Capacidad del analista	1.46	1.19	1.00	0.86	0.71	
Experiencia en aplicaciones	1.29	1.13	1.00	0.91	0.82	
Capacidad del ingeniero de software	1.42	1.17	1.00	0.86	0.70	
Experiencia en máquinas virtuales	1.21	1.10	1.00	0.90		
Experiencia en lenguajes de programación	1.14	1.07	1.00	0.95		
Atributos del Proyecto						
Aplicación de métodos de ingeniería de software	1.24	1.10	1.00	0.91	0.82	
Uso de herramientas de software	1.24	1.10	1.00	0.91	0.83	
Cronograma de desarrollo requerido	1.23	1.08	1.00	1.04	1.10	